

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

MULTIFUNKČNÁ TEXTÍLIA PRE
VOJENSKÉ ODEVY

MULTIFUNCTIONAL FABRICS FOR
MILITARY CLOTHING

LIBEREC 2012

Bc. SOŇA VRANČÍKOVÁ

zadanie bakalárskej prác

P r o h l á š e n í

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 09. 05. 2012

Podpis:

PodĎakovanie

Ďakujem za odborné pripomienky, podnety, návrhy pri spracovávaní diplomovej práce pani konzultantke Ing. Ľudmile Balogovej, i za potrebné informácie, odborné konzultácie a za celkový dohľad nad diplomovou prácou.

PodĎakovanie taktiež patrí Ing. Jane Salačovej, Ph.D., vedúcej mojej diplomovej práce za správne koordinovanie a vhodné pripomienky.

Ing. Jozefovi Šestákovi, CSc. za nazretie do Výskumného ústavu textilnej chémie v Žiline, s dovoľením vykonať potrebné skúšky dôležité pre diplomovú prácu a celému výskumnému kolektívu .

Anotácia

Názov DP: Multifunkčná textília pre vojenské odevy
Autor: Bc. Soňa Vrančíková
Odovzdanie DP: 2011/ 2012
Vedúci BP: Ing. Jana Salačová, Ph.D.

Diplomová práce sa zaoberá prípravou multifunkčnej textílie pro ochranu vojáka na bojišti. Jedná sa o výzkum nových technológií pro aplikaci v textíliích bojových oděvů. Hlavním cílem bylo ověřit přípravu multifunkčních textilií pro inovovaný bojový oděv na základě využití nanotechnologií. Inovace spočívá v optimalizaci úprav pro sníženou hořlavost, se superhydrofóbními vlastnostmi a se samočisticí úpravou.

Vedlejším cílem je analyzovat vliv konstrukce tkaniny pro multifunkční textílie, vliv na funkční parametry (propustnost vzduchu, pevnost, tažnost, lehkost zapálení, ohraničení šíření plamenu) s vypracováním doporučení pro optimalizaci podmínek přípravy multifunkční textílie. Následně se ověřovala aplikace hydrofobní úpravy na bázi nanosolů na povrch multifunkční textílie s vyhodnocením její funkčnosti na přístroji Goniometr DSA 30 z hlediska vlivu materiálového složení multifunkční textílie na stabilitu hydrofobního nanosolů. Stanovoval se úhel rolování, kontaktní statický úhel rolování a byl proveden spray test. V závěru se diskutuje o dosažených výsledcích.

Klíčová slova

Multifunkční textílie
Vojenské oděvy
Konstrukce tkanin
Nanotechnologie
Nanosoly
Hydrofobní úprava

Annotation

Theme: Multifunctional fabrics for military clothing
Author: Soňa Vrančíková
Consignment: 2011/ 2012
Leadership: Ing. Jana Salačová, Ph.D.

The thesis deals with the preparation of multifunctional textiles to protect the soldiers on the battlefield. This is the research of new technologies for the application in the future combat clothing fabrics. The main purpose of this research was to verify the preparation of multifunctional textiles for innovative combat clothing based on nanotechnology. Innovation is in the optimizations of modifications for reduced flammability, with superhydrophobic features and the self-cleaning coating.

A side objective is analyze the effects of structure of multifunctional textile fabrics, influence on functional parameters (air permeability, strength and ductility, ease of ignition and limited flame spread) to make recommendations to optimize conditions for preparation of multifunctional textiles. Subsequently was verified the application of hydrophobic modification based on nano sols on the top of multifunctional fabric with an assessment of the functionality on the device Goniometer DSA 30 over the impact of material composition of multifunctional fabric on the stability of the hydrophobic nano sol. Tests were used to determine the angle of scrolling and contact static angle of scrolling on printed fabrics and the spray test. Finally, there is a discussion about achieved results.

Keywords

Multifunctional fabric
Military clothing
Construction of fabrics
Nanotechnology
Nano sols
hydrophobic

Obsah

ÚVOD	10
1.1 CIELE DP	11
2. REŠERŠNÁ ČASŤ.....	12
2.1 SÚČASNÝ STAV BOJOVÝCH ODEVOV ARMÁDY SR	12
2.1.1 <i>Základné konštrukčné a fyzikálno- mechanické parametre komerčných textílií určených pre bojové odevy vojakov</i>	<i>14</i>
2.2 MULTIFUNKČNÁ TEXTÍLIA	16
2.3 POŽIADAVKY NA MATERIÁLOVÚ KONŠTRUKCIU TKANINY.....	18
2.4 NÁVRH MATERIÁLOVEJ KONŠTRUKCIE BOJOVÉHO ODEVU	20
2.5 OCHRANA VOJAKA PROTI SÁLAVÉMU TEPLU A OHŇU- NEHORĽAVÁ ÚPRAVA	21
2.5.1 <i>Ochranné textilné materiály so zníženou horľavosťou.....</i>	<i>22</i>
2.6 VYBRANÉ VLÁKNA SO ZNÍŽENOU HORĽAVOSŤOU A ICH VLASTNOSTI	25
2.6.1 <i>Aramidové vlákna</i>	<i>25</i>
2.6.2 <i>Viskózové vlákna</i>	<i>28</i>
2.7 OCHRANA VOJAKA PROTI CHLADNÉMU, MOKRÉMU POČASIU -HYDROFÓBNA ÚPRAVA	28
2.7.1 <i>Lotosový efekt</i>	<i>31</i>
2.7.2 <i>Princíp funkcie zušľachťovania pomocou nanotechnológie</i>	<i>32</i>
2.7.3 <i>Hydrofóbne nanosóly</i>	<i>34</i>
3. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ	36
3.1 CHARAKTERISTIKA SKÚŠOBNÝCH VZORIEK.....	37
3.2 POUŽITÉ PRÍSTROJE	39
3.3 POUŽITÉ SKÚŠOBNÉ METÓDY	39
3.3.1 <i>Stanovenie plošnej hmotnosti textílií</i>	<i>40</i>
3.3.2 <i>Stanovenie priepustnosti vzduchu.....</i>	<i>42</i>
3.3.3 <i>Stanovenie pevnosti</i>	<i>45</i>
3.3.4 <i>Stanovenie ľahkosti zapálenia textílií.....</i>	<i>48</i>
3.3.5 <i>Horľavosť- ohraničené šírenie plameňa</i>	<i>52</i>
3.3.6 <i>Súhrnná tabuľka funkčných parametrov multifunkčných tkanín</i>	<i>56</i>
3.4 VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV LABORATÓRNYCH SKÚŠOK, KONŠTRUKČNÉ A FYZIKÁLNO- MECHANICKÉ PARAMETRE TEXTÍLIÍ URČENÝCH PRE BOJOVÉ ODEVY VOJAKOV	57
3.4.1 <i>Zhrnutie výsledkov laboratórnych skúšok, konštrukčné a fyzikálno- mechanické parametre textílií určených pre bojové odevy vojakov</i>	<i>62</i>

4.	LABORATÓRNE OVERENIE HYDROFÓBNEJ ÚPRAVY	63
4.1	APLIKÁCIA HYDROFÓBNEJ ÚPRAVY NA BÁZE NÁNOSOV	63
4.1.1	<i>Laboratórne overenie aplikácie špeciálnych typov nanosólov na textílie</i>	<i>63</i>
4.1.2	<i>Analyzovaný povrch hydrofóbnej úpravy</i>	<i>64</i>
4.1.3	<i>Vyhodnotenie funkčných vlastností upravených vzoriek textílií</i>	<i>64</i>
4.1.3.1	Stanovenie uhla rolovania na plošných textíliách	65
4.1.3.2	Stanovenie kontaktného statického uhla textílií	69
4.1.3.3	Spray test	74
4.2	VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV LABORATÓRNYCH SKÚŠOK, HYDROFÓBNA ÚPRAVA	77
4.2.1	<i>Zhrnutie výsledkov laboratórnych skúšok, hydrofóbna úprava</i>	<i>79</i>
4.3	ÚČINNOSŤ HYDROFÓBNEJ ÚPRAVY	80
	ZÁVER.....	84
6.	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	86
7.	ZOZNAM TABULIEK	88
8.	ZOZNAM OBRÁZKOV	89

Zoznam použitých symbolov

Ba	bavlnené vlákna
IPS	interný predpis skúšobného laboratória
KSU	Kontaktný statický uhol
LOI	Limitné kyslíkové číslo, ktoré vyjadruje najnižšiu koncentráciu kyslíka v zmesi s dusíkom v %, ktorá stačí na to, aby materiál pri podmienkach skúšky horel. [1]
PES	polyesterové vlákna
PTFE	Polytetrafluoretylén, je fluórovaný polymér, obchodným názvom teflon. V podobe veľmi tenkých vrstiev našiel teflon použitie ako aj Gore-Tex, sú to membrány s mikropórmi, ktoré sú dostatočne veľké, aby prepúšťali vodnú paru, ale vodu ako kvapalinu neprepúšťajú. Preto možno vyrábať oblečenie a obuv, ktoré je vodeodolné, ale zároveň umožňuje odvádzanie telesnej vlhkosti. [11]
UR	Uhol rolovania
UV	ultrafialové žiarenie
VS FR	Viskóza FR bola vyvinutá špeciálne pre ochranné odevy z čistej celulózy, ku ktorej boli pridané behhalogénové prostriedky na potlačanie horenia. Tým si tieto vlákna zachovávajú hodnoty nehorľavosti aramidov pri výrazne zníženej cene. [1]

ÚVOD

Vojenské uniformy resp. rovnošaty nosia vojaci pri cvičení alebo priamo v boji. Ich materiálové zloženie a konštrukčné riešenie by malo byť zvolené tak, aby napomáhali pri fyzickom výkone vojaka.

Diplomová práca je rozdelená do dvoch častí. Prvá časť, teoretická, sa zaoberá súčasným stavom bojových odevov, potrebnými vlastnosťami ktoré, by mal odev spĺňať aby zabezpečil vojakovi ochranu a vysvetlenie pojmu multifunkčná textília.

V úvodnej časti tejto práce je prevedený prehľad pojmov týkajúcich sa bojových odevov. Zahrňuje súčasný stav bojových odevov armády SR, základné konštrukčné a fyzikálno- mechanické parametre komerčných textílií, vybrané vlákna so zníženou horľavosťou a závere rešeršnej časti je pozornosť venovaná aj hydrofóbnej úprave a nanotechnológiám.

Experimentálna časť popisuje postupy, metódy a výsledky merania súvisiace s riešením diplomovej práce. Skúšky (stanovenie plošnej hmotnosti, priepustnosti vzduchu, pevnosti, ľahkosti zapálenia textílií, horľavosť- ohraničené šírenie plameňa a určenie kontaktného statického uhla, uhla rolovania kvapky a Spray test) realizované vo Výskumnom ústave textilnej chémie (VÚTCH)-CHEMITEX, spol. s r.o, Žilina.

Ďalej sa v tejto časti diplomovej práce popisuje príprava multifunkčnej textílie – tkaniny so zníženou horľavosťou upravenej hydrofóbnym nanosólom. Experimentálna časť sa delí na tri časti.

Prvým cieľom je analyzovať vplyv materiálového zloženia multifunkčných tkanín so zníženou horľavosťou na ich funkčné parametre. Ďalším cieľom je overiť aplikáciu hydrofóbnej úpravy na báze nanosólov na povrchu multifunkčnej textílie so zníženou horľavosťou a vyhodnotenie funkčných vlastností. Posledným cieľom je analyzovať vplyv materiálového zloženia multifunkčnej textílie so zníženou horľavosťou na stabilitu hydrofóbného nanosólu. V závere práce sú vyhodnotené dosiahnuté výsledky.

1.1 Ciele DP

Diplomová práca má stanovené tri ciele:

Cieľ č.1 :Analýza vplyvu materiálového zloženia multifunkčných tkanín so zníženou horľavosťou na ich funkčné parametre.

Cieľ č.2 :Overenie aplikácie hydrofóbnej úpravy na báze nanosólov na povrchu multifunkčnej textílie so zníženou horľavosťou a vyhodnotenie jej funkčných vlastností.

Cieľ č.3 : Analýza vplyvu materiálového zloženia multifunkčnej textílie so zníženou horľavosťou na stabilitu hydrofóbneho nanosólu.

2. REŠERŠNÁ ČASŤ

2.1 Súčasný stav bojových odevov Armády SR

Bojový odev je neoddeliteľnou súčasťou každého vojaka. Do popredia vystupujú ekonomické a etické aspekty bezpečnosti práce, ktoré zdôrazňujú úctu k zdraviu a priaznivý vplyv pocitu, komfortu. Nezanedbateľné sú aj ekonomické prínosy a úspory z prevencie pracovných úrazov a chorôb z povolania, ktoré zabezpečujú používanie kvalitných pracovných ochranných odevov so špeciálnymi ochrannými vlastnosťami.

Vojenské uniformy resp. rovnošaty nosia vojaci pri cvičení alebo priamo v boji. Ich materiálové zloženie a konštrukčné riešenie by malo byť zvolené tak, aby napomáhali pri fyzickom výkone vojaka. Požiadavky na materiály, z ktorých sú vyrobené tieto odevy sú veľmi veľké. Materiál musí byť odolný proti opotrebeniu, musí mať dobré fyziologické vlastnosti, ochranu proti vplyvom prostredia, ochranu proti poraneniu, optickú adaptáciu vzhľadom na bojové pole, vysokú odolnosť proti vplyvom prostredia, stálosť v praní a v údržbe.

Textilné materiály pre bojové odevy predstavujú vysokošpecializovaný sortiment technických textílií, využívajúcich v svojej konštrukcii špeciálne vlákna, resp. zmesi vlákien, často v kombinácii s vybranými chemickými úpravami. Všeobecne najpoužívané vlákna sú bavlna, polyester, polyamid a zmesi týchto materiálov. Význam vlny a najmä ľanu neustále klesá. Aramidové vlákna a nehorľavá viskóza sú nevyhnutné pre špeciálne aplikácie. V súčasnej dobe existujú na trhu také vlákna, ktoré zabudovaním do textílie zabezpečujú viaceré vlastnosti súčasne. Textília tak môže byť nehorľavá, antimikrobiálna, príjemná na dotyk s rýchlym odvádzaním vlhkosti od pokožky.

Primárnym účelom bojového odevu je ochrana pred explóziami, ohňom, extrémnymi podmienkami prostredia, chemickými a biologickými toxínmi alebo žiarením. Veľmi dôležitá je funkčnosť odevu ktorá pomáha plniť vojenské úlohy rýchlo, účinne s minimálnym výdajom energie a identifikácia ktorou sa jednotlivé vojská rozlišujú.

Medzi najdôležitejšie vlastnosti, na ktoré je kladený veľký dôraz pri bojových odevoch sú:

- znížená horľavosť
- zvýšená pevnosť
- hydrofóbnosť

Vojak sa nachádza aj v chladnom, veternom, mokrom počasí a preto je veľmi potrebné aby odev bol hydrofóbny. " Človek nemôže uspokojivo fungovať, ak sa necíti pohodlne". Taktiež je často vystavený rôznym požiarom a sálavému teplu, preto je dôležité aby odev mal zníženú horľavosť a tak nedošlo k popáleninám a úrazom. Uniforma často plní funkciu celodenného oblečenia preto je veľmi dôležité aby bola pre vojaka pohodlná.

Súčasným vojenským odevom Ozbrojených síl SR je „poľná rovnošata 2007“ s doplnkami do extrémnych podmienok s digitálnou potlačou maskovacieho vzoru, dezén „les“ a „púšť“.

Vzor dezénu je predurčený pre (Obr.1) :

- a) púštne podmienky: béžová potlač z prostredia Juhozápadnej Ázie
- b) zalesnené teritórium: zelená potlač pre teritórium strednej Európy



Obr.1 Poľný odev 2007,a) púšť, b) les [17]

Poľná rovnošata 2007 nahradila používaný poľný odev vz.97, ktorý nezabezpečoval v dostatočnej miere maskovacie vlastnosti, ktoré boj vyžaduje. Odstránili sa veľké farebné plochy vzoru kamufláže , ktoré boli značným demaskujúcim prvkom. Z výsledkov hodnotenia maskovacích vlastností sú neporovnateľné lepšie výsledky účinnosti maskovania v denných aj nočných podmienkach.

Poľná rovnošata 2007 chráni povrch tela vojaka pred povrchovými odreninami, zraneniami pri jeho pohybe, pred pozorovaním protivníka, zabezpečuje ochranu pred nepriaznivými klimatickými vplyvmi a splňa fyziologické požiadavky vojaka.

V závislosti od ročného obdobia sa používajú dva materiály pre výrobu.

(Tab. 1,2)

Tab. 1 Celoročná poľná rovnošata 2007- digitalizovaná potlač- les [15]

Materiálové zloženie	ba / PES / pružné vlákno
Plošná hmotnosť	258gm ⁻²
Minimálna pevnosť	1000N osnova, 600N útok
Hydrofóbná úprava	povrchová hydrofóbná úprava

Tab. 2 Poľná rovnošata 2007 letná- digitalizovaná potlač- púšť[15]

Materiálové zloženie	ba
Plošná hmotnosť	200gm ⁻²
Minimálna pevnosť	900N osnova, 600N útok
Hydrofóbná úprava	povrchová hydrofóbná úprava

2.1.1 Základné konštrukčné a fyzikálno- mechanické parametre komerčných textílií určených pre bojové odevy vojakov

Kvalitatívny rozbor analyzovaných textílií bol vykonaný za účelom získania informácií o konštrukčnom riešení a funkčných parametrov za účelom nájsť optimálne riešenie pre prípravu a zavedenie výroby multifunkčnej textílie so zvýšenou pevnosťou, zníženou horľavosťou a hydrofóbnymi vlastnosťami.

Na rozbor bolo použitých 14 vzoriek popísané sú tie tkaniny, ktoré sa v súčasnosti používajú na výrobu bojových odevov armády SR (Tab. 3).

Tab. 3 Rozbor základných konštrukčných a fyzikálno- mechanických parametrov komerčných textílií určených pre bojové odevy vojakov [15]

	Poľná rovnošata 2007- digitalizovaná potlač- les			Poľná rovnošata 2007 letná- digitalizovaná potlač- púšť		
Materiálové zloženie [%]	ba/ PES/ pružné vlákno			ba		
Plošná hmotnosť [g/m ²]	258 g/m ²			200 g/m ²		
Väzba	keprová			keprová		
Pevnosť [N]	smer osnovy	smer útok		smer osnovy	smer útok	
	1000	600		900	600	
Priepustnosť vzduchu [mm.s ⁻¹]	131,5					
Spray test	5					
KSU [°]	144					
UR[°]	12,1					
Zápalnosť textílie [s]	osnova	+		osnova	útok	
	4	4		4	4	
Ohraničené šírenie plameňa	Priemerný čas samovoľného plameňového horenia [s]	čas tlenia [s]	pozorovanie	Priemerný čas samovoľného plameňového horenia [s]	čas tlenia [s]	pozorovanie
	91,82	21,68	Zapálený filtračný papier	63,67	28,8	Zapálený filtračný papier

Hlavné materiálové zloženie tkanín pre bojové odevy je zmes vlákien ba / PES.

Najčastejšie používaná je keprová väzba. Trendom sa začína stávať väzba Ripstop, ktorá vďaka zosilneniu nití v osnove aj útku zabezpečuje vyššiu pevnosť a odolnosť proti pretrhnutiu.

Plošnú hmotnosť ovplyvňuje jemnosť priadze, ktorá bola použitá a dostava nití v osnove a útku textílie.

Hlavnými znakmi, ktoré určujú kvalitu textílií sú hlavne pevnosť, ťažnosť, priedušnosť a tepelná odolnosť. Práve spomínané pevnosť a ťažnosť sú mechanické vlastnosti ovplyvnené najmä konštrukciou vlákien ale aj zvolenou konštrukciou textílie.

Pevnosť charakterizuje úroveň odporu textílií voči pôsobeniu vonkajších síl. Vysoká pevnosť je jednou zo základných požiadaviek na textílie určené pre vojenské odevy.

Pod pojmom horľavosť textílie je schopnosť textilných materiálov sa zapáliť, samovznietiť a horieť. Schopnosť zapálenia je definovaná časom, pri ktorom je textília schopná samovoľnému horeniu najmenej po dobu 5 sekúnd.

Medzi ľahko zapáliteľné patria textílie zo 100% bavlny alebo zmesi bavlna/ PES, ktorých čas zápalnosti je na úrovni 3-6 sekúnd a dochádza k úplnému zhoreniu. Čas samovoľného horenia je vyššia ako 60 sekúnd.

Medzi ťažko zápalné patria textílie na báze 100% aramidových vlákien a ich zmesi aramidových vlákien a nehorľavej viskózy. Čas zápalnosti je vyšší ako 20 sekúnd a priemerný čas samovoľného horenia 0 sekúnd.

Na základe analýzy vzoriek používaných na vojenské ochranné odevy, bolo zistené, že armáda SR používa ale aj používala tkaninu z bavlny, resp. zmesi ba/ PES.

Plošná hmotnosť sa pohybuje v rozpätí 200 resp. 258g/m². Používa sa keprová väzba. Pevnosť tkanín je pomerne vysoká.

Bavlna a PES patria medzi horľavé materiály. Kombináciou týchto dvoch vlákien bez nehorľavej povrchovej úpravy nezabezpečujeme dostatočnú ochranu vojaka proti kontaktu s ohňom a sálajúceho tepla.

2.2 Multifunkčná textília

Pod pojmom multifunkčnosť textilných materiálov sa rozumie textília minimálne s dvomi vlastnosťami.

Multifunkčnosť textílie je synergický efekt minimálne 2-3 vybraných úžitkových resp. funkčných parametrov textílie na požadovanej hodnotovej úrovni.

Základom pre takéto textílie sú predovšetkým špeciálne typy vlákien zabudované v konštrukcii textílií.

Medzi takéto vlákna patria najmä:

- vlákna so zníženou horľavosťou, na báze aramidových vlákien a nehorľavých viskózných vlákien FR
- elektro-vodivé vlákna na báze kovu, uhlíka
- vlákna s ochrannou funkciou proti ultrafialovému (UV) žiareniu

- antimikrobiálne vlákna

Druhým spôsobom pre dosiahnutie multifunkčného efektu textílií je modifikácia povrchu materiálu pomocou úpravárenských procesov (nanoštruktúrna modifikácia povrchu textílií a pod.) a aplikáciou inovatívnych úpravárenských prostriedkov na povrch materiálu za účelom dosiahnutia napr. hydrofóbnych vlastností, samočistiaceho efektu, antimikrobiálnej a nehorľavej úpravy, ochrany proti hmyzu aplikáciou repelentnej úpravy a pod.

Výskum a vývoj v oblasti textilných materiálov sa v súčasnosti intenzívne zaoberá textilnými materiálmi s multifunkčnými vlastnosťami. Jedná sa o vlastnosti so zvýšenými kvalitatívnymi, úžitkovými, ochrannými parametrami a vyššou pridanou hodnotou. Základom pre ich výrobu sú predovšetkým špeciálne typy vlákien a inovatívne povrchové úpravy. V dnešnej dobe je možno zabezpečiť radu požiadaviek ako napríklad zvýšenie komfortu nosenia odevu pri rôznej fyzickej záťaži vojaka a to zlepšením transportných vlastností (odolnosť voči vodným parám, vode, priepustnosť vzduchu) a zabezpečenia antimikrobiálnej ochrany. Taktiež špeciálne vlastnosti v závislosti od klimatických podmienok prostredia. Možno zabezpečiť zvýšenú ochranu pred UV žiarením, samočistiaci efekt, zamedziť priepustnosť vody aplikáciou hydrofóbnnej úpravy, ochranu proti hmyzu aplikáciou antirepelentnej úpravy. Človek sa však často vyskytuje v prostredí kde je ohrozený sálavým teplom alebo ohňom a tu mu je zabezpečená ochrana pomocou využitia špeciálnych typov vlákien napr. na báze aramidu, viskózy FR, so zníženou horľavosťou resp. aplikáciou povrchovej úpravy. Antistatické vlastnosti sú dosiahnuté prostredníctvom zabudovania elektricky vodivých vlákien do konštrukcie textílie.

Pridanú hodnotu multifunkčných textílií tvorí nielen schopnosť spájať niekoľko vlastností do jedného textilného materiálu, ale i možnosť redukcie hmotnosti odevu. Redukciu dosiahnuť pomocou nahradením jednotlivých vrstiev odevu materiálmi s nižšou plošnou hmotnosťou a s výrazne lepšími kvalitatívnymi a funkčnými vlastnosťami.

Multifunkčné textilné materiály sú dnes vo svete už súčasťou vojenských odevov. Aplikáciou materiálov do konštrukcie bojového odevu vojaka sa zvyšuje úroveň jeho ochrany a znižuje zaťaženie organizmu, čo má pozitívny vplyv na psychickú, fyzickú pohodu a výkonnosť, ktoré sú najmä v tejto pozícii nevyhnutnosťou.

Je však veľmi potrebné všetky aspekty prispôbiť fyzickej záťaži vojaka a klimatickým podmienkam v ktorých sa nachádza.

2.3 Požiadavky na materiálovú konštrukciu tkaniny

Textilné materiály určené na výrobu odevov pre armádu by mali spĺňať hlavne parametre týkajúce sa textílií, medzi ktoré patria najmä zvýšená pevnosť a schopnosť poskytovať potrebnú ochranu.

Požiadavky na materiál môžeme rozdeliť podľa ich vlastností do skupín:

a) FYZIKÁLNO-MECHANICKÉ A CHEMICKÉ

- pevnosť v ťahu, odolnosť proti ďalšiemu trhaniu a odolnosť voči oderu a roztrhnutiu,
- stálofarebnosť na svetle, vo vode a v pote ,
- znížená horľavosť ,
- odolnosť proti mikroorganizmom (antimikrobiálna ochrana).

Vojak sa často vyskytuje v prostredí kde je ohrozený sálavým teplom alebo ohňom a takéto prostredie mu môže spôsobiť popáleniny preto je ho potreba chrániť. Uniforma sa stáva pre vojaka niekedy celodenným oblečením a preto sa využíva aj antimikrobiálna úprava. Hlavným dôvodom použitia tejto úpravy je predísť nepríjemným zápachom a vytvoriť spoľahlivú a odolnú ochranu proti baktériám, pachu a plesniam, ktoré sa pri neustálom nosení môžu vyskytnúť.

b) KOMFORT ODEVOV V RÔZNYCH KLIMATICKÝCH PODMIENKACH A FYZICKEJ ZÁŤAŽI

- odolnosť proti prenikaniu vody , vodných pár a tepla,
- priepustnosť vzduchu,
- ochrana proti dažďu a ďalším poveternostným podmienkam -hydrofóbna úprava.

Ochranné odevy s nízkou priepustnosťou vlhkosti môžu zapríčiniť tepelné namáhanie a to spôsobí zvýšené potenie človeka, čo negatívne ovplyvňuje nielen jeho

fyzický výkon ale aj funkcie, ktoré plnia ľudské zmysly. Abrázívne materiály môžu odierať pokožku a tým spojený diskomfort vedie k poklesu pozornosti a výkonu. Vojak sa nachádza aj v nepriaznivom počasi a preto je dôležité aby mu vo vykonávaní práce nebránili vo veľkej miere klimatické podmienky (chlad, vietor, počasie), ktoré môžeme obmedziť hydrofóbnym odevom.

Trendom dnešnej doby je nanoštruktúrna modifikácia textilného materiálu, ktorá dokáže zabezpečiť superhydrofóbné vlastnosti a tzv. samočistiaci efekt. Materiál sa stáva odolný nielen voči vode, ale aj špiny so zachovaním pôvodných vlastností ako je napr. priepustnosť vodných pár. Vo veľmi chladnom a suchom počasi nie je hydrofóbnosť potrebná. Pre príslušníkov armády, ktorí potrebujú minimum odevov, nie je potrebné mať dvojaké vrchné ošatenie (jedno hydrofóbné do chladného a vlhkého počasia, a jedno neprepúšťajúce vietor do chladného a suchého počasia). Hydrofóbný, paropriepustný odev, chrániaci pred vetrom je funkčný v oboch prostrediach.

c) MASKOVACIA ÚČINNOSŤ MATERIÁLOV

- reflektancia (odrazivosť) - pomer odrazeného žiarenia k dopadajúcemu žiareniu, resp. množstvo žiarenia, ktoré sa odráža v jednotlivých vlnových dĺžkach spektra od farebného povrchu a grafickým znázornením sú „remisné krivky“
- chromatické súradnice pre jednotlivé farebné odtiene maskovacieho vzoru

Princíp maskovania je založený na rozostrení a rozloženia obrysu objektu. Ľudské oko má snahu vnímať každú oblasť vzoru ako samostatný objekt. Preto predmet, ktorý na nepravidelné tvary zachytí človek podstatne horšie ako jasný obrys. Cieľom maskovania je čo najdokonalejšie zladit' s okolitým prostredím. V jednoliatom prostredí je takmer odev neprehliadnuteľný, no pri správnom použití v teréne je vďaka absencii akýchkoľvek ostrých hrán takmer neviditeľný. Preto dezén poľnej rovnošaty je prispôsobený prostrediu v ktorom sa vojak bude potrebovať ukryť [18].

Väčšinu z týchto vlastností súčasné textílie používané pre výrobu vojenských uniforiem spĺňajú. Pre zvýšenie úrovne ochrany vojaka by ale bolo potrebné zvýšiť funkčnosť používaných textílií. Pod týmto pojmom sa uvažuje nad špeciálnou ochranou vojaka zameranej na ochranu proti teplu a ohňu pomocou

špeciálnych typov vlákien a textílií so zníženou horľavosťou. Ochrany proti nepriaznivým klimatickým podmienkam zabezpečením samočistiaceho efektu a superhydrofóbných vlastností a taktiež komfortu nosenia vylepšením súčasného konštrukčného riešenia odevu pri súčasnom znížení jeho celkovej hmotnosti.

Aplikácia týchto vlastností do odevu je závislá od typu odevu vojaka a od klimatického prostredia kde by sa mal využiť. Je tiež dôležité si uvedomiť, že s každou z uvedených špeciálnych vlastností stúpne cena bojového odevu.

2.4 Návrh materiálovej konštrukcie bojového odevu

Pri navrhovaní je nutné poznať rozsah klimatických podmienok, v ktorých sa bude odev nosiť a stupeň fyzickej záťaže pri ktorom bude vojak plniť svoju úlohu. Nakoľko rozsah týchto informácií je rozsiahly a bolo by potrebné jednotlivé typy textilných materiálov odskúšať priamo na mieste, kde bude vojak vykonávať svoju úlohu, predpokladaný návrh materiálovej konštrukcie bude len informatívny na úrovni teoretických poznatkov, odporúčaní výrobcov a doterajších skúseností našich a zahraničných vojsk.

Podľa počasia nadobúdajú aj vlastnosti ako hydrofóbnosť, odolnosť proti prenikaniu vetra, priepustnosť vodnej pary, vzduchu a odvádzanie vlhkosti rôzny význam. Ak jednotlivé vrstvy odevu nie sú konštruované ako systém, odev často nesplní svoj účel v dôsledku nevhodného výberu základnej vrstvy, ktorá môže vyvolávať mokrý alebo vlhký lepkavý pocit na pokožke. Hydrofóbnosť je dôležitá hlavne v chladných vlhkých podmienkach, naopak odolnosť voči prenikaniu vetra je nutná v extrémnom suchom chlade. No v teplom i chladnom prostredí je nutné aby pokožka bola stále suchá. Vojaci sú vystavení činnosti v ktorej sa intenzívne potia, preto je nutné aby vrstva najbližšia k pokožke človeka odvádzala vlhkosť z pokožky a schla čo najrýchlejšie. Spôsob ako udržať telesnú teplotu vojaka je použitie vrstveného systému:

- vnútorná vrstva najbližšia k pokožke riadi vlhkosť (odvádzajú vlhkosť od pokožky a schne čo najrýchlejšie)
- stredná vrstva poskytuje teplo v chladných podmienkach

- vonkajšia vrstva zaistuje maskovanie a ochranu voči okolitému prostrediu

Prostredie v závislosti od klimatických podmienok možno rozdeliť na chladné a teplé.

Vonkajšiu vrstvu odevu vojaka tvorí bojový odev, potlačený digitalizovaným maskovacím vzorom armády SR. V chladnom, mokrom počasí by vonkajšia ochranná vrstva mala byť hydrofóbná, aby chránila spodný odev. Aby sa materiál klasifikoval ako hydrofóbny, musí byť odolnosť proti prieniku vody ekvivalentná tlaku hydrostatickej výšky 28m . Švy by sa mali zataviť. Táto vrstva by mala mať vysokú priepustnosť vodnej pary, alebo nízku odolnosť proti odparovaniu, aby sa mohol odparovať pot.

Ďalšou so základných ochranných funkcií bojového odevu vojaka je ochrana proti sálavému teplu a ohňu. Pre zabezpečenie požiadavky na zníženie horľavosti sa najčastejšie používajú vlákenné materiály so zníženou horľavosťou resp. s odolnosťou voči horeniu.

2.5 Ochrana vojaka proti sálavému teplu a ohňu- nehorľavá úprava

Dôležitou ochrannou funkciou bojového odevu pre vojaka je ochrana proti priamemu plameňu a sálavému teplu. Pre dosiahnutie zníženej horľavosti textilných materiálov existujú viaceré možnosti. Možnosť modifikácie vlákna pridaním retardéru horenia do základného polyméru, príprava vlákien z prirodzene nehorľavých polymérov alebo povrchovou úpravou textílií pomocou nanášania prostriedkov (retardérov horenia) chrániacich textíliu pred vznietením a samovoľným šírením plameňa.

Do skupiny textílií určených pre výrobu ochranných odevov proti ohňu a sálavému teplu patria textílie na báze aramidov, viskózy FR a ich zmesí určených pre odevy s vyšším stupňom ochrany do rizikových oblastí. Povrchovo upravené textílie nehorľavou úpravou na báze materiálov ako bavlna, vlna, PES a ich zmesí sú určené na výrobu ochranných odevov s nižším stupňom ochrany do oblastí s minimálnym rizikom kontaktu s teplom a ohňom. Materiály majú vo väčšine prípadov nanesenú hydrofóbnú úpravu, resp. zabezpečujú antistatické vlastnosti zapracovaním kovového, resp.

uhlíkového vlákna. U týchto materiálov sa kladie dôraz na zabezpečenie ochrany človeka pred sálavým teplom a ohňom.

Na druhom mieste sú fyziologické vlastnosti, antistatika, hydrofóbnosť a komfort nosenia. Požiadavky, resp. limitné hodnoty parametrov horľavosti sú definované v príslušných národných, európskych a medzinárodných normách, nariadeniach a predpisoch. Plošná hmotnosť sa pohybuje na úrovni cca. 220-440 g/m² pre vrchné tkaniny. Textílie vyrobené z aramidových vlákien, zmesi aramid/VS FR resp. textílie s povrchovou nehorľavou úpravou sa pôsobením plameňa horáka po dobu 20 sekúnd nezapália a nejavia známky žiadneho samovoľného plameňového horenia. Po 10 sekundách pôsobenia plameňa horáka textílie nehoria, nedochádza ani k vzniku diery, tleniu, zapáleniu filtračného papiera, výskytu odpadnutých úlomkov ani k iným sprievodným javom horenia, bez poškodenia konštrukcie textílie.

Textílie používané v súčasnosti na výrobu Poľných uniforiem 2007 patria medzi horľavé, ľahko zápalné materiály, ktoré by pri priamom kontakte s ohňom hneď začali horieť. Z hľadiska zabezpečenia ochrany vojaka v kritických bojových podmienkach by mali byť odevy nevyhnutne vyrobené z tkanín so zníženou horľavosťou. V porovnaní so štandardnými prírodnými a syntetickými materiálmi tieto textílie nehoria a netavia sa. Z výsledkov parametrov horľavosti bavlnených tkanín vyplýva, že pri prvej sekunde pôsobenia plameňa na textíliu dochádza k samovoľnému šíreniu plameňa.

2.5.1 Ochranné textilné materiály so zníženou horľavosťou

Zabezpečiť ochranu človeka pred rizikom otvoreného ohňa a vysokých teplôt pracovného prostredia si vyžaduje vyrobiť textíliu pre ochranný odev spĺňajúci základné požiadavky, ako sú:

- zabrániť, resp. spomaliť prenikaniu ohňa, alebo sálavého tepla k pracovníkovi
- zachovanie mechanickej pevnosti a štruktúry textílie po pôsobení ohňa bez vzniku jedovatých spalín, tavenia a odkvapkávania vlákien a vzniku prehorených otvorov

Dosiahnutie požadovaného stupňa ochrany podľa stupňa rizika, ktorému je pracovník vystavený, je možné v zásade 2 spôsobmi:

- použitím špeciálnych vysokokvalitných nehorľavých vlákien v konštrukcii textílie
- špeciálnou povrchovou úpravou klasickej tkaniny

Textílie so zníženou horľavosťou na báze špeciálnych vlákien

Proces horenia je zložitá sústava fyzikálno-chemických dejov. Jeho základom je vývoj tepla chemickou reakciou, na ktorú nadväzuje prestup tepla a zmena štruktúry substrátu. Teplotný režim v procese horenia závisí od dvoch hlavných faktorov - rýchlosti prívodu tepla a rýchlosti odvodu tepla.

Na horľavosť textilných materiálov má vplyv niekoľko rozhodujúcich faktorov:

- chemické zloženie substrátu (obsah vodíka, uhlíka, kyslíka a pod.)
- fyzikálne vlastnosti substrátu (zrážavosť, latentné napätie, tavitelnosť, teplota tavenia, viskozita taveniny)
- geometrická štruktúra textilu (jemnosť priadze, plošná hmotnosť, dostava)
- priebeh chemických reakcií v plameni pri horení

Jednotlivé typy textilných materiálov sa správajú pri horení odlišne. Syntetické vlákna sa v porovnaní s bavlnou vyznačujú tým, že sa síce ťažšie zapália ale po horení odkvapkávajú, čo spôsobuje rozšírenie požiaru a nepríjemné popáleniny taveninou, uvoľňuje sa viac tepelnej energie- vyššie spaľovacie teplo. Dôležité údaje o horľavosti materiálov a účinnosti nehorľavých úprav poskytuje limitné kyslíkové číslo (LOI), ktoré vyjadruje najnižšiu koncentráciu kyslíka v zmesi s dusíkom v percentách, ktorá stačí na to, aby materiál pri podmienkach skúšky horel. Nízka hodnota LOI dokazuje, že materiál horí aj pri malom podiele kyslíka v zmesi. Materiály s hodnotou LOI pod 20% sú ľahko horľavé a nad 25% ťažko horľavé. Hodnoty LOI pre vybrané vlákna sú uvedené v Tab. 4

Tab. 4 Hodnoty LOI vybraných vlákien [15]

Klasifikácia vlákna	Vlákno	LOI [%]
tepelne odolné	sklo	nehorí
	Nomex	30
	novoloid (Kynol)	30- 40
	Teflon (PTFE)	95
	uhlíkové vlákna	>60
	polybenzimidazol	41
	polyfenylénsulfid	34
odolné voči horeniu	modakrylové	27- 31
	nehorľavý PES	28- 32
	Kevlar	28

	PVC (Vynilon)	35- 37
	vlna	24- 26
horľavé	bavlna	17- 19
	PP	19- 20
	nylon	20- 22
	polyester	20- 22
	akrylové vlákna	20
	viskóza	17- 19

Z tabuľky vyplýva, že klasické, prírodné a syntetické vlákna sú zaradené medzi vlákna horľavé. Horľavosť sa výrazne zvyšuje u zmesí prírodných celulóзовých a syntetických vlákien.

Pri posudzovaní odolnosti proti horeniu textílií je nutné brať do úvahy rad faktorov:

- ľahkosť vznietenia
- rýchlosť šírenia plameňa
- tavenie a odkvapkávanie polymérov
- tvorba plynu a toxických plynov
- dymenie po horení

Chovanie materiálov pri horení je závislé aj na štruktúre textilného plošného útvaru a povrchu. Pre horenie materiálu musí byť k dispozícii horľavý materiál, dostatočná tepelná energia a kyslík. Pri ohreve vlákien dochádza k absorpcii a strate vlhkosti vlákien, generácii horľavých plynov vplyvom tepelného rozkladu vlákien, zapálenie horľavého plynu a vývin tepla horenia, ktoré ďalej zvyšuje vývin horľavých plynov. Horia teda len horľavé plyny.

Dôležitými vlastnosťami použitého materiálu je tiež komfort jeho nosenia, dobrá odolnosť proti svetlu, schopnosť absorbovať vlhkosť, priedušnosť, antistatické a hydrofóbne vlastnosti. Z hľadiska ochrany proti ohňu a vysokým teplotám sa požaduje čo najvyššie LOI.

Textílie so zníženou horľavosťou na báze povrchových úprav

Princípom nehorľavých úprav je obmedzenie, resp. zastavenie niektorých procesov horenia. Medzi procesy vedúce k horeniu patrí zabránenie alebo obmedzenie

tvorby horľavých plynov a rozkladu vlákien zvýšením ich tepelnej odolnosti, generácia nehorľavého plynu pri rozklade vlákien a tým blokovanie kontaktu s kyslíkom, riadenie horľavých plynov pomocou nehorľavých plynov, oddelenie vlákna od zóny horenia (odkvapkávanie vlákien pri tavení), zníženie dodávky tepelnej energie s využitím nehorľavých materiálov a vytvorenie silnej, izolujúcej poréznej (uhlíkovej) vrstvy na povrchu vlákien.

Na prípravky na nehorľavú úpravu textílií sa kladú nasledovné hlavné požiadavky:

1. Optimálny retardačný účinok, zabránenie dotlievania a pri syntetických vláknach i odkvapkávanie taveniny. Nehorľavá úprava zmesových tkanín, najmä z celulóзовých a syntetických vlákien, nie je z tohto hľadiska doposiaľ doriešená.
2. Stálosť úpravy pri praní a chemickom čistení, ako aj pri rozličných poveternostných podmienkach (podľa účelu použitia).
3. Jednoduchá aplikácia prípravku.
4. Veľmi malý vplyv na vzhľad a ohmat. Niektoré prípravky sa používajú vo veľkých množstvách (až 60%) a zhoršujú ohmat a farebný odtieň.
5. Úprava má minimálne znižovať pevnosť tkaniny. tak napríklad retardéry na základe PVC pevnosť neznižujú, ale reaktívne retardéry na celulózu znižujú pevnosť o 30%.
6. Úprava nesmie dráždiť pokožku a nesmie znižovať priedušnosť.
7. Pri pyrolýze upraveného textilu nesmú z prípravku vzniknúť nijaké dodatočné toxické látky.

2.6 Vybrané vlákna so zníženou horľavosťou a ich vlastnosti

2.6.1 Aramidové vlákna

Aramidové vlákna sú vlákna z aromatických polymérov s dlhým uhlíkovým reťazcom. Sú radené k vláknám s vynikajúcimi vlastnosťami. Medzi popredné patrí hlavne vysoká pevnosť, odolnosť voči teplote a chemikáliám. Vlákna sa netavia, pri teplote cca. 400°C

zuhoľnatej. K nevýhodám patrí hlavne nízka odolnosť voči ultrafialovému žiareniu a zlá farbitelnosť vlákien. Rozdeľujem ich na:

- meta-aramidy (vynikajú svojou termickou odolnosťou a elektroizolačnými vlastnosťami)
- para-aramidy (s podstatne vyššou pevnosťou v ťahu a vyšším modulom pružnosti) [15]

NOMEX

NOMEX je aramidové vlákno zo skupiny meta-aromatických polyamidov. NOMEX je registrovaná ochranná známka spoločnosti DuPont (USA). Je reprezentantom celej skupiny produktov, ktoré odolávajú plameňom a vysokým teplotám. Ochranná funkcia sa nachádza priamo v molekulárnej štruktúre samotného vlákna. To znamená, že nevzniká následným spracovaním či úpravou, ani pridaním nejakej prísady. Vďaka tomu si textilie a odevy držia svoju odolnosť proti ohňu a žiaru stabilne a trvalo.

NOMEX je vlákno odolné proti vysokým teplotám. Odevy nehoria, ani horenie nepodporujú, netavia sa a neodkvapkávajú. Tkaniny sú bezpečné pri stálych teplotách až do 200°C a odolávajú krátkodobým zvýšeniam teploty až do 240°C. Začínajú karbonizovať pri teplotách nad 370°C. Problémom je, že vplyvom zvýšenej teploty sa vlákna zrážajú, čo má za následok vznik trhlín v textíliách a tým rastie nebezpečenstvo vzniku popálenín.

NOMEX je dostupný v celom rade jemnosti. Nákupná cena odevov z materiálov NOMEX je síce vyššia ale vďaka tomu, že ich životnosť je dlhšia, prinášajú tieto odevy postupom času významnú finančnú úsporu. Fyzikálno- mechanické vlastnosti vlákna NOMEX sú uvedené v Tab. 5. Všetky skúšky pri nosení odevu dokázali, že materiál je ľahký, priedušný a dobre odvádza pot [1].

Tab. 5 Fyzikálno- mechanické vlastnosti vybraných aramidových vlákien

Typ vlákna	Pevnosť [cN/dtex]	Ťažnosť pri pretrhu [%]	Modul [cN/dtex]	Hustota [kg/m ³]	Teplota rozkladu [°C]	LOI [%]	Vlhkosť [%]
NOMEX	5,4	15	18,5	1460	415	29	4,5- 5,0
KERMEL1	2,5- 3,0	10- 25	35- 40	1340	480-600	32	4,0-4,5
KERMEL2	4,0- 6,0	10- 20	45- 75				

KEVLAR29	20- 29	4- 5	490	1440	550	30	1,2- 6,0
KEVLAR49	21- 29	1,5- 2	780	1450	550	30	1,2- 6,0

KERMEL

KERMEL je meta- aramidové vlákno prirodzene nehorľavé a teda tepelne odolné. Vlákno KERMEL zabraňuje šíreniu ohňa, pri vystavení vysokým teplotám sa netaví, ale pomaly zuhoľnatie bez toho aby odkvapkávalo. Nevytvára žiadne horúce kvapky a nelepí sa na kožu. Textilná štruktúra síce stráca svoje mechanické vlastnosti, ale ostane neporušená, čo je pre ochranné odevy rozhodujúce. Pri normálnej teplote okolia dosahujú vlákna KERMEL výbornú odolnosť voči kyselinám, organickým rozpúšťadlám, bieliacim pracovným prostriedkom a vodným parám. Vlákno je farbiteľné v hmote a tým si zachováva dlhodobú stálosť vyfarbenia, má výbornú stálosť na svetle a ľahkú údržbu. Fyzikálno- mechanické vlastnosti sú uvedené v Tab. 5.

Vlákno KERMEL prostredníctvom svojich vlastností dáva tkaninám dlhú životnosť a vynikajúce textilné vlastnosti. Tkanina je mäkká, pružná, poddajná a nežmolkuje sa. KERMEL je možné vyrábať samostatne alebo v zmesi:

- Kermel/ VS FR (denné ochranné odevy, typický dobrý komfort, antistatika, priedušnosť a príjemný omak).
- Kermel/vlna (nehorľavo upravené uniformy, odpovedajúci vzhľad sa nedosiahne žiadnou inou upravenou tkaninou).
- Kermel/ HT aramid (zásahové odevy pre hasičov a nepriestrelné vesty).

U vlákna nedochádza ku žmolkovaniu, takže textílie vyzerajú dlho ako nové [2].

KEVLAR

Vlákna KEVLAR od firmy DuPont (USA) sú para- aramidové vlákna. Vyznačujú sa ťažkou zápalnosťou, netavia sa, vlákna odolávajú teplote až do 500°C a sú dlhodobo stabilné pri teplote nad 220°C. Pri teplote 318°C vlákno KEVLAR stratí 20% svojej pevnosti a rozkladá sa pri teplote 482,2°C. Je odolné voči chemikáliám a rozpúšťadlám. Vlákno KEVLAR je v zlatej farbe, farbené verzie sú vyrábané firmou TORAY v Japonsku. Vlákno má nielen vynikajúcu pevnosť a pružnosť, ale aj rázovú pevnosť, odolnosť proti roztrhnutiu a vysokú tepelnú odolnosť. Taktiež odolnosť proti plesniam a starnutiu. Fyzikálno- mechanické vlastnosti sú uvedené v Tab. 5 [3].

2.6.2 Viskóзовé vlákna

Vlákna sú vyrobené z regenerovanej celulózy. Celulóza je obsadená v bunkových stenách každej rastliny. Textílie z viskózového vlákna majú príjemný omak, dobrú savosť, nekrčivosť. Pri vysokých teplotách sa však zráža a nie sú odolné voči biologickým vplyvom.

Lenzing Viscose FR

Viskóza FR bola vyvinutá špeciálne pre ochranné odevy z čistej celulózy, ku ktorej boli pridané behhalogénové prostriedky na potláčanie horenia. Tým si tieto vlákna zachovávajú hodnoty nehorľavosti aramidov pri výrazne zníženej cene.

Vlákno poskytuje ochranu proti krátkodobému pôsobeniu plameňa, nedochádza k topeniu. Farbenie prebieha v hmote a jej farebné odtiene vykazujú odolnosť na svetle. U týchto textílií je možnosť hydrofóbnej alebo oleofóbnej úpravy. Odevy vyrobené z tohto materiálu poskytujú vysoký komfort nosenia, pretože si zachováva vlastnosti prírodných vlákien [4].

2.7 Ochrana vojaka proti chladnému, mokrému počasiu - hydrofóbná úprava

V chladnom, mokrom počasi by vonkajšia ochranná vrstva mala byť hydrofóbná, aby chránila spodný odev a telo vojaka. Aby sa materiál klasifikoval ako hydrofóbný, musí byť odolnosť proti prenikaniu vody ekvivalentná tlaku hydrostatickej výšky približne 28m. Z dôvodu neprenikania vody pod vrchný odev by sa mali zataviť švy. Odev by mal mať vysokú priepustnosť vodnej pary, alebo nízku odolnosť proti odparovaniu, aby sa mohol odparovať pot.

Hydrofóbná úprava by mala zabrániť premočeniu, nasiaknutiu vody a kvapalín do textilu. Mala by zabezpečiť vodeodpudivosť a hydrofóbnosť materiálu, ochranu povrchu textílie pričom nesmie spôsobiť žltnutie a tuhnutie textilu a predĺžiť životnosť odevu. Časový faktor údržby by sa mal zredukovať na minimum. Potlačuje zmáčanlivosť textílie a textília sa stáva vodoodpudivá, rozlišujeme:

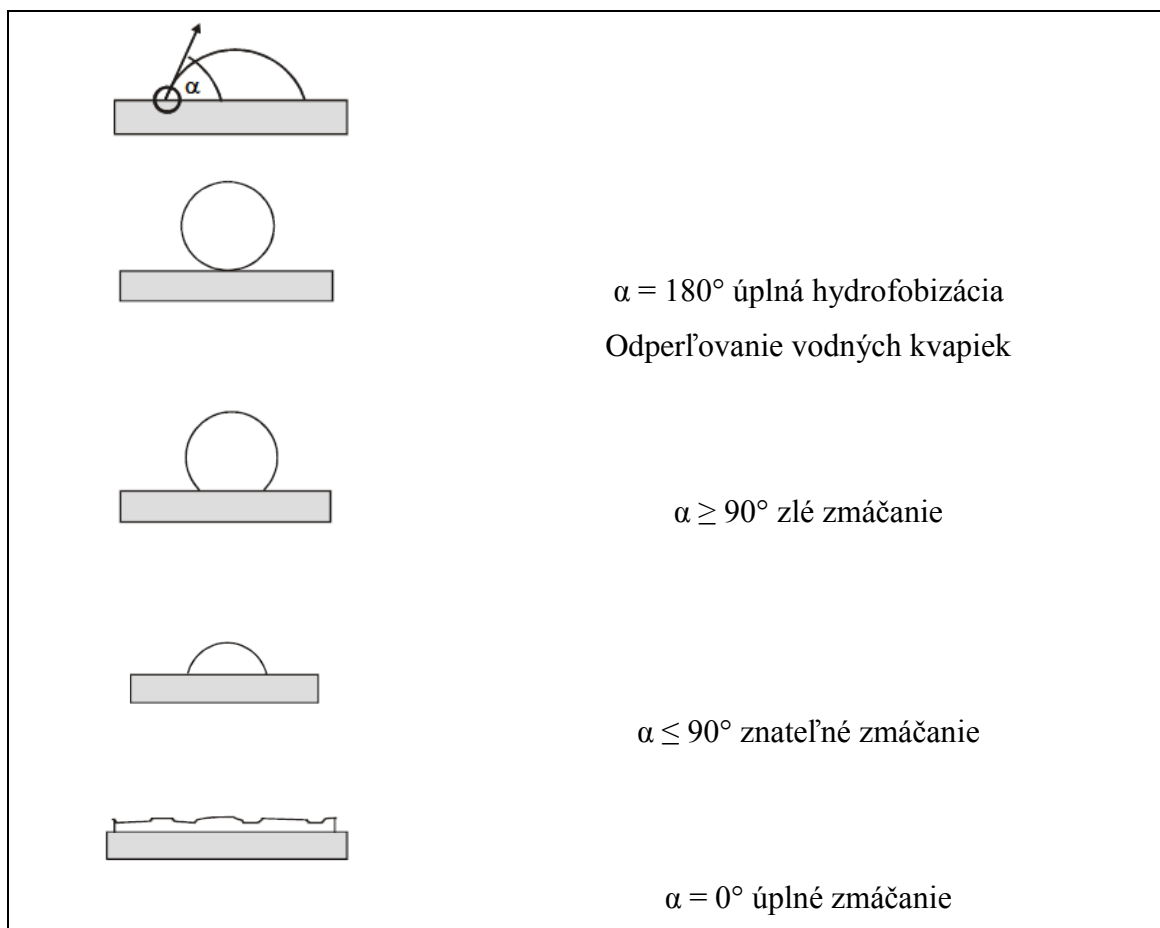
1. nepriepustná

vodotesná, musí odolať určitému vodnému stĺpcu. Robí sa povrstvením alebo zatieraním latexom, termoplastickou živicom a pod.. Nanesený film musí byť dostatočne pružný, pevný s dostatočnou adhéziou. Úprava nie je vhodná pre odevy, nie je priedušná, nosenie je nehygienické.

2. priedušná

a) *s odperlujúcim efektom*, vlákna obalené hydrofóbnym tenkým filmom. Priedušnosť vzduchu zostáva zachovalá, aplikácia hlavne na športové oblečenie.

b) *nepremokavá*, priedušnosť zostáva v menšej miere zachovaná. Zabraňuje nielen odrážaniu vody ale zabraňuje aj prieniku vody tkaninou.



Obr. 2 Uhol zmáčania [16]

Mierou hydrofóbie je uhol zmáčania (Obr. 2), ktorý sa vytvorí medzi kapalinou, vzduchom a textíliou. Čím vyšší uhol zmáčania, tým textília lepšie odpudzuje vodu.

Hydrofobizáciou sa na textílii musí vytvoriť film, ktorý zamedzí prienik vody.

Od roku 1938 je k dispozícii pre priemyselné využitie polytetrafluoretylén (PTFE).

Fluorkarbónové polyméry - živice sú moderné ochranné chemikálie aj pre textilné aplikácie. Prednosti úpravy sú nasledovné:

- vysoká ochrana proti vode - hydrofóbnosť
- ochrana proti olejovým, mastným substanciam - oleofóbnosť
- ochrana proti suchej a mastnej špiny a flákom
- zachovanie paropriepustnosti a priedušnosti, dosiahnutie vysokého komfortu nosenia
- univerzálnosť pre všetky vlákenné substráty a farby
- stálosť proti poveternostným podmienkam
- stálosť vo všetkých formách prania
- zachovanie pôvodného omaku
- ľahká údržba, rýchle schnutie

Fluorkarbónové živice vysoko predstihli predchádzajúce hydrofobizačné prostriedky na báze parafrínových voskov, prípadne melanínom modifikované mastné kyseliny. Nevýhodou flórkarbónových úprav je vysoká náročnosť ich prípravy z hľadiska ochrany životného prostredia. Silikónové prípravky na hydrofóbnú úpravu tiež poskytujú vysoký stupeň hydrofóbnosti so zachovaním omaku, ale majú zvýšenú špinavosť. Základná príčina úspešnosti živíc pre aplikáciu vo finálnych úpravách textilu sú fyzikálno-chemické vlastnosti látky dané chemickým zložením. Povrch tuhého telesa môže zmáčať iba kvapalina, ktorého povrchové napätie je menšie ako kritické povrchové napätie tuhého povrchu. V opačnom prípade, kvapalina ostane na povrchu vo forme kvapky - odperľovací efekt, lotosový.

Hydrofóbnosť textílií je možné teda zabezpečiť buď nanosením hydrofóbnej úpravy nanoštrukturalizáciou povrchu alebo lamináciou s polymérnou membránou (PTFE).

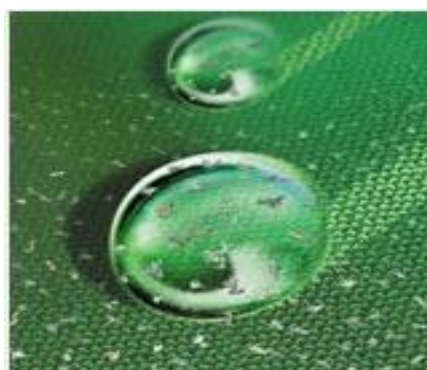
2.7.1 Lotosový efekt

„Lotosový efekt“ je jav spočívajúci v tom, že sa na niektorých typoch povrchov voda mení na guľôčky, ktoré stekajú dole a berú so sebou nečistoty. Jav je pomenovaný podľa rastlinného rodu lotos, ale možno ho pozorovať aj pri iných rastlinách. Povrch lotosových listov má vysoko hydrofóbné vlastnosti (Obr. 3).

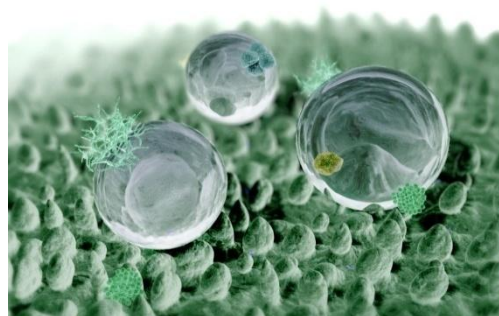


Obr. 3 Lotosový list [19]

Z lotosového listu stekajú kvapky dažďa vo forme perličiek. Dažďové kvapky nemajú takmer žiadny kontakt s povrchom listu. Vďaka takémuto efektu aj iné látky na báze vody ako napríklad med, olej, lepidlo a iné viskózne substancie k listu neprilahnú. Ak aj napriek tomu áno, prvý dážď nečistoty odstráni a rastlina je tak úplne čistá. Takmer zhodné vlastnosti môže získať ktorýkoľvek druh povrchu prostredníctvom nanotechnológií (Obr. 4, 5) .



**Obr. 4 Kvapky vody tvoriace perličky ,
odnášajúce nečistoty z povrchu textilného
materiálu [19]**



Obr. 5 Povrch lotosového listu [20]

Tento efekt bol napodobený vedcami nanoimpregnáciou. Vyskúšaná, dlhodobá a vysoko efektívna ochrana zachováva hodnoty materiálu a chráni pred agresívnymi vplyvmi prostredia [19].

Princíp spočíva v nanosení nanočastíc na povrch materiálu. Veľkosť častíc o hmotnosti jeden gram rozprestretej v jednej vrstve, zakryje plochu približne 120- 140 m². Výsledkom je dokonalá impregnácia, ktorá znemožňuje pevné uchytienie nečistôt a ich preniknutie do hĺbky štruktúry materiálu. Zároveň však zostávajú zachované paropriepustné vlastnosti. Nanoprvky neodržia na povrchu pomocou pojiva ale vďaka chemických väzieb a síl. Výsledná ochrana je teda úplne odolná proti pôsobeniu mrazu a vlhkosti, stabilitu neovplyvní ani striedanie teplôt či pôsobenie chemických látok. Ochranný film sa však prirodzene opotrebováva pôsobením prachových častíc vo vzduchu, v praxi to znamená väčšie opotrebovanie čelných ako bočných strán [20].

Najnovší vývoj vo finálnych úpravách textilných materiálov vedie smerom k nanotechnológiám. Nanotechnológie pracujú s časticami na úrovni molekúl až atómov. Pri nanoštrukturalizácii povrchu sa stáva materiál odolný aj voči zašpineniu. Na povrchu sa tvoria teda kvapky, ktoré sa rolujú a vzniká tzv. „samočistiaci efekt“.

2.7.2 Princíp funkcie zušľacht'ovania pomocou nanotechnológie

Nanotechnológie, predstavujú jednu z najprogresívnejších interdisciplinárnych vied. Veda zasahuje aj do oblasti textilnej chémie, prináša so sebou nové možnosti vytvárať vysokoúčinné produkty pre nanoštruktúrálnu modifikáciu textilného materiálu. Účelom zavedenia je zvýšenie jeho funkčných, úžitkových, kvalitatívnych a ochranných vlastností daného materiálu. Pomocou techniky sól- gél, ktorá je založená na príprave špeciálnych roztokov tzv. nanosólov, je možné zlepšiť resp. dodať textilným materiálom nové vlastnosti. Medzi vlastnosti patria hlavne superhydrofóbne a hydrofilné vlastnosti, samočistiaci efekt, antibakteriálne vlastnosti, elektrickú vodivosť a iné. Kombináciou aktívnych nanočastíc, nanosólov a špeciálnych typov vlákien je možné dosiahnuť synergický efekt vybraných parametrov, zabezpečujúci multifunkčnosť textílií.

Chémia sól- gél procesov je založená na hydrolýze a polykondenzácii molekulových prekursorov ako sú napr. rôzne alkoxidy (silány, zirkonáty, ...). Tieto reakcie vedú k vytvoreniu anorganických resp. anorganicko-organických trojrozmerných sietí, ktoré môžu byť aplikované vo forme kompaktných blokov, náterov a tenkých filmov. Použitie neagresívnych rozpúšťadiel a nízkych teplôt taktiež umožňuje zaviesť organické molekuly. Rôzne anorganické a organické komponenty môžu byť navzájom kombinované a štruktúrované v nanorozmerovej škále. Vzniknuté anorganicko- organické hybridy vykazujú široké spektrum najrozmanitejších úžitkových a fyzikálnych vlastností.

Nano-častice sa po nanesení pevne spoja s podkladom. Ak je povrch hladký, nenasiakavý, spoja sa vo forme siete a tak tekutiny spolu s nečistotami sú odpudzované. Pri poróznych povrchoch prenikajú častice do pórov a vyplňujú ich. Plesne, lišajníky, mach ustupujú vo veľkej miere alebo úplne a nečistoty ako je vlhkosť už neprenikajú do materiálu. Podobne sa správajú textilie (prírodné aj syntetické vlákna), kde sa jednotlivé vlákna obalia. Vlhkosť a nečistoty už neprenikajú do vlákien. Ošetrené textilie sú prirodzené a neutrálne k pokožke.

Približne po jednom dni pri hladkých povrchoch a textíliách, alebo po dvoch pri poróznych povrchoch sa plne rozvinie vlastnosť nepriľnavosť povrchu. Energia na povrchu sa zmesí tak, aby tekutiny a nečistoty mohli voľne "odtiecť". Výzor, dýchanie a dotykový pocit zostáva po úprave rovnaký (Obr. 6).



Obr. 6 Princíp samočistiaceho efektu [20]

Výhodou nanotechnológie je extrémna odolnosť voči chemickým a mechanickým vplyvom. Výborná tepelná odolnosť a tiež stabilita pri UV žiarení či

mrazu. Povrch získa aj lepšiu oteru vzdornosť tak, že mechanické opotrebovanie pri bežnom používaní sa prakticky neprejavuje.

2.7.3 Hydrofóbne nanosóly

Aplikácia sól- gél techniky je jedným z procesov účinnej hydrofóbnej úpravy.

Chémia sól- gél procesov je založená na hydrolýze a polykondenzácií molekulových prekursorov (silány, zirkonáty,...). Reakcie vedú k anorganickým resp. k anorganicko-organickým trojrozmerným sieťam. Aplikované môžu byť vo forme kompaktných blokov, náterov a tenkých filmov.

Hydrofóbnosť je charakterizovaná uhlom zmáčania vodou. Ak je kontaktný uhol väčší ako 150° - 160° hovoríme o superhydrofóbných povrchoch. V tomto prípade môžeme očakávať aj samočistiaci efekt modifikovaných materiálov.

Postup prípravy zahŕňa prípravu gélu, jeho sušenie a následné spracovanie na konečný produkt. Posledná fáza zahŕňa veľké množstvo metodík [21].

Popularita sól- gélových metód má veľa príčin. Prvá súvisí s možnosťou veľkého spektra látok, ktoré pri malých chemických zmenách, môžu vykazovať veľký súbor takmer kontinuálne sa meniacich fyzikálno- chemických vlastností. Druhá príčina je, že veľkú variabilitu produktov môžeme dosiahnuť aj pri obmedzenom množstve reaktantov. veľká výhoda je taktiež nízkoteplotná príprava. Poslednou dôležitou vlastnosťou je príprava vysoko čistých materiálov. Z hľadiska nahraditeľnosti existujú dva prípady. V prvom prípade je možné považovať metódy za nahraditeľné a o ich použití rozhoduje cena. V druhom prípade sa jedná o metodiky nenahraditeľné, ktoré sa nedajú pripraviť alternatívnym postupom, bez ohľadu na ich cenu.

Gély sú pevné elastické látky, sú tvorené kontinuálnym reťazcom, tvoriacim tuhú kostru gélu a kvapalnou zložkou. Kvapalná zložka je distribuovaná v póroch a kanáloch vytvárajúcich vzájomne pospájaný systém. Pod pojmom sól sa chápe kvapalina v ktorej sú homogénne dispergované častice s koloidnými rozmermi.

Látky pripravované týmito metódami je možné rozdeliť podľa kritérií. Môžu to byť rôzne požadované konečné vlastnosti, oblasti použitia, objem ich výroby, prípadne doba využívania. Väčšina metód je veľmi drahá preto sú to hlavne produkty vyrábané o

malých objemoch. Mnoho aplikácií metód je sústredená najmä vo vojenskej technike a kozmonautike.

K najväčším výhodám týchto metód patria: možnosť plynulej zmeny fyzikálnych parametrov produktov, možnosť nízкотеплотnej prípravy, vysoká čistota produktov, vysoká homogenita produktov, neprítomnosť kryštalických fáz, možnosť tvaru produktu odlieváním do foriem.

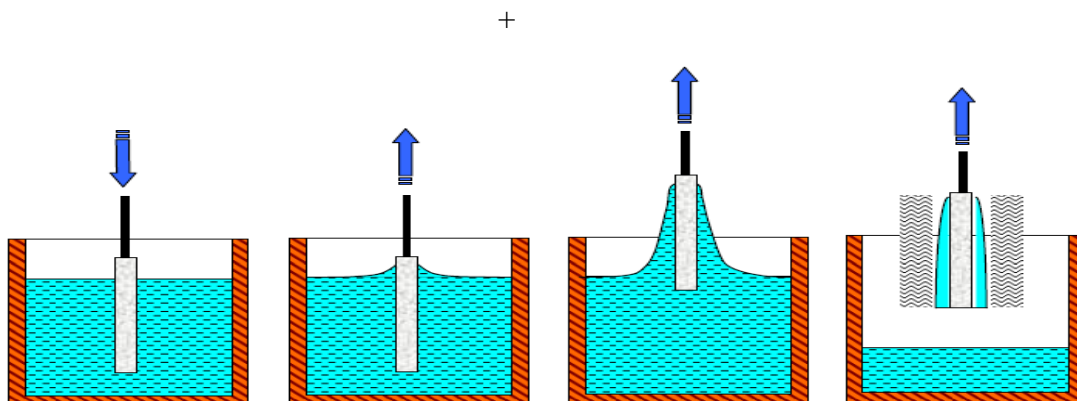
K hlavným nevýhodám týchto metód patria: vysoká cena vstupných surovín, časová náročnosť prípravy, toxicita východiskových látok, prchavosť rozpúšťadiel, obmedzené možnosti úpravy konečného tvaru produktov, značné kritické podmienky prípravy

Hrúbka filmov a povlakov neprevyšuje $1\mu\text{m}$, nanášajú sa na rôzne druhy materiálov ako sklo, kovy, keramika a plasty.

Z hľadiska funkcie a použitia rozdeľujeme sól- gélové metódy: optické, elektronické, vyrovnávacie, ochranné.

V súčasnosti existuje široká škála nanášania povlakov. Konkrétna metóda je závislá na použití daného filmu, na type podkladového materiálu, na tvare pokrývaného telesa, veľkosti plochy, hrúbke a vlastnostiach filmu.

Metódy vytvárania sól- gélových filmov: namáčanie telesa do sólu (Obr. 7), nanášanie sólu na rotujúcu podložku, elektroforetické nanášanie, sedimentačná metóda, sprejovanie [6].



Obr. 7 Metóda nanášania filmov namáčaním [6]

3. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Experimentálna časť popisuje postupy, metódy a výsledky merania súvisiace s riešením diplomovej práce. Skúšky (stanovenie plošnej hmotnosti, priepustnosti vzduchu, pevnosti, ľahkosti zapálenia textílií, horľavosť- ohraničené šírenie plameňa a určenie kontaktného statického uhla, uhla rolovania kvapky a Spray test), boli realizované vo Výskumnom ústave textilnej chémie (VÚTCH)-CHEMITEX, spol. s r.o., Žilina.

Ďalej sa v tejto časti diplomovej práce popisuje príprava multifunkčnej textílie – tkaniny so zníženou horľavosťou upravenej hydrofóbnym nanosólom. Multifunkčnosť spočívala v dosiahnutí viacerých parametrov v konštrukcii jednej textílie:

Znížená horľavosť: zápalnosť > 20s

ohraničené šírenie plameňa: čas horenia: 0s

čas tlenia: 0s

odpadnuté úlomky: bez výskytu

zapálený filtračný papier: nie

Zvýšená pevnosť: pevnosť po osnove: min. 800 N

pevnosť po útku: min. 1 000 N

Priepustnosť vzduchu pri podtlaku 200 kPa: vyššia ako 100 mm/s

Hydrofóbnosť vlastností: Spray test: min stupeň 3

kontaktný statický uhol > 140°

uhol rolovania kvapky ≤ 20°

3.1 Charakteristika skúšobných vzoriek

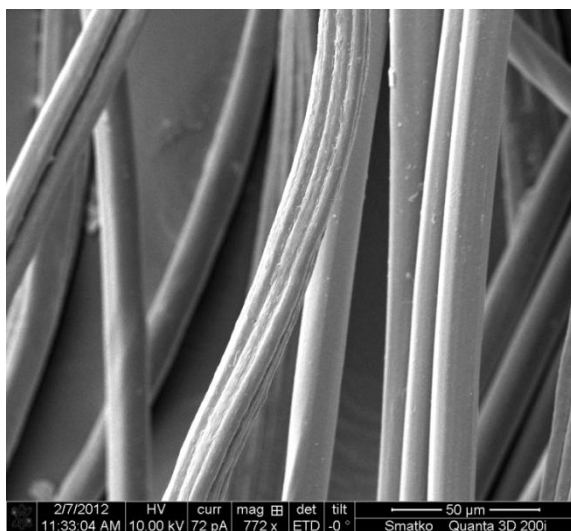
Na prípravu multifunkčnej tkaniny boli použité dva typy zmesných priadzí:

Priadza č.1: - špeciálna priadza so zníženou horľavosťou na báze zmesi meta-aramidových vlákien a nehorľavá viskóza (ďalej len „aramid- VSFR“) (Obr. 8)

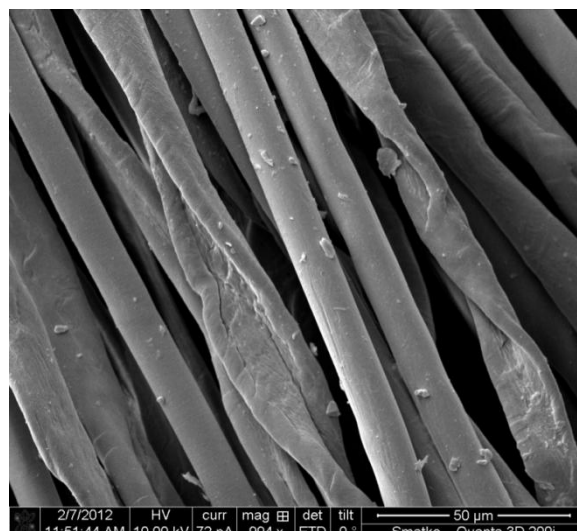
- celková jemnosť priadze: 25*2 tex

Priadza č.2: - štandardná priadza na báze zmesi bavlnených a polyesterových vlákien (ďalej len „ba- PES“) (Obr. 9)

- celková jemnosť priadze: 25*2 tex



Obr. 8 SEM snímka zmesnej priadze aramid/VS FR pri zväčšení 50 µm



Obr. 9 SEM snímka zmesnej priadze ba/PES pri zväčšení 50 µm

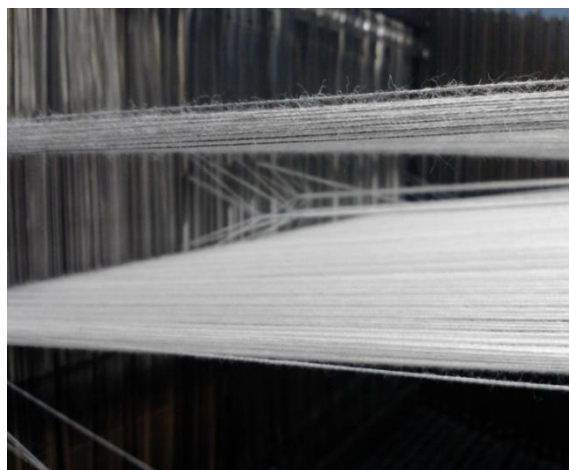
Multifunkčné tkaniny boli pripravené zo zmesných priadzí v rôznom podielovom zložení týchto priadzí v konštrukcii tkaniny. Boli priamo pre potreby tejto diplomovej práce navrhnuté základné konštrukčné parametre multifunkčných tkanín, ktoré boli pripravené v šiestich základných variantách:

- väzba: plátňová
- plošná hmotnosť: do 250g/m²

Tab. 6 Navrhnuté materiálové zloženie laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín

Označenie tkanín	Materiálové zloženie tkaniny z hľadiska podielu zmesných priadzí v konštrukcii tkaniny
T 100	100% aramid- VS FR
T 70/30	70% aramid- VS FR / 30 % ba- PES
T 60/40	60% aramid/VS FR / 40% ba- PES
T 50/50	50% aramid- VS FR / 50% ba- PES
T 40/60	40% aramid- VS FR / 60% ba- PES
T 30/70	30% aramid- VS FR / 70% ba- PES

Multifunkčné tkaniny boli pripravené na laboratórnom poloautomatickom tkáčskom stave (Obr. 10, 11) s maximálnou pracovnou šírkou osnovy 50cm a dĺžkou osnovy 4m. Bolo pripravených 6 variant (Tab. 6) laboratórnych vzoriek tkanín podľa navrhnutých konštrukčných parametrov. Väzba vzoriek plátnová, ripstop.

**Obr. 10 Laboratórny tkáčsky stav – pohľad z predu****Obr. 11 Osnova tkaniny**

3.2 Použité prístroje

- Váhy Scaltec
- Prístroj na meranie priepustnosti vzduchu typu FF – 12/A
- Prístroj s konštantným prírastkom predĺženia (CRE)
- Sherley Flammability Tester M 233 B od firmy SDL ATLAS
- Fixačné zariadenie Firma Mathis
- elektrónový mikroskop QUANTA 3D 200i FEI
- Roltest 9- 11
- GONIOMETER DSA 30 od firmy KRÜSS
- Kropiace zariadenie

3.3 Použité skúšobné metódy

V experimentálnej časti diplomovej práce boli použité metódy hodnotenia vybraných funkčných parametrov pripravených vzoriek multifunkčných textílií. Na pripravených laboratórnych vzorkách multifunkčných tkanín boli v Laboratóriu textilnom a hodnotenia horľavosti vo VÚTCH-CHEMITEX, spol. s r. o. Žilina vyhodnotené nasledovné funkčné parametre:

- *Stanovenie priepustnosti vzduchu*
STN EN ISO 9237: 1998 Textílie. Stanovenie priepustnosti vzduchu plošnými textíliami,
- *Stanovenie pevnosti a ťažnosti*
STN EN ISO 13934- 1: 2001 Textílie. Ťahové vlastnosti plošných textílií. Časť 1: Zisťovanie maximálnej sily a ťažnosti pri maximálnej sile metódou Strip,
- *Stanovenie zápalnosti*
STN EN ISO 6940: 2004 Textílie. Horľavosť. Zisťovanie ľahkosti zapálenia zvisle umiestnených vzoriek,
- *Stanovenie ohraničeného šírenia plameňa*
STN EN ISO 15025: 2003 Ochranné odevy. Ochrana proti teplu a ohňu. Metóda skúšania ohraničeného šírenia plameňa.

3.3.1 Stanovenie plošnej hmotnosti textílií

Skúška na stanovenie plošnej hmotnosti vzoriek sa vykonávala podľa STN EN 12127: *Textílie. Plošné textílie. Stanovenie plošnej hmotnosti s použitím malých vzoriek* [7].

Podstata skúšky:

Podstatou skúšky je meranie plochy a hmotnosti skúšanej vzorky a výpočet plošnej hmotnosti v gramoch na meter štvorcový [g/m²].

Skúšobné prístroje a zariadenia:

Váhy Scaltec, umožňujú zistiť hmotnosť skúšanej vzorky s presnosťou 1mg (Obr. 12)

Nožnice, potrebné k vystrihnutiu skúšanej vzorky

Šablóna, umožňuje nenáročné zakreslenie skúšanej vzorky



Obr. 12 Analytické váhy Scaltec

Klimatické podmienky:

Teplota vzduchu : 20 ± 2 °C

Relatívna vlhkosť : 62 ± 5 %

Skúšobné podmienky boli pre všetky skúšobné vzorky rovnaké.

Príprava vzoriek:

Na plochu každej vzorky skúšanej textílie zakresliť tvar a pomocou nožníc vystrihnúť 5 vzoriek s rozmermi 10cm x 10cm (100 cm²).

Postup skúšky :

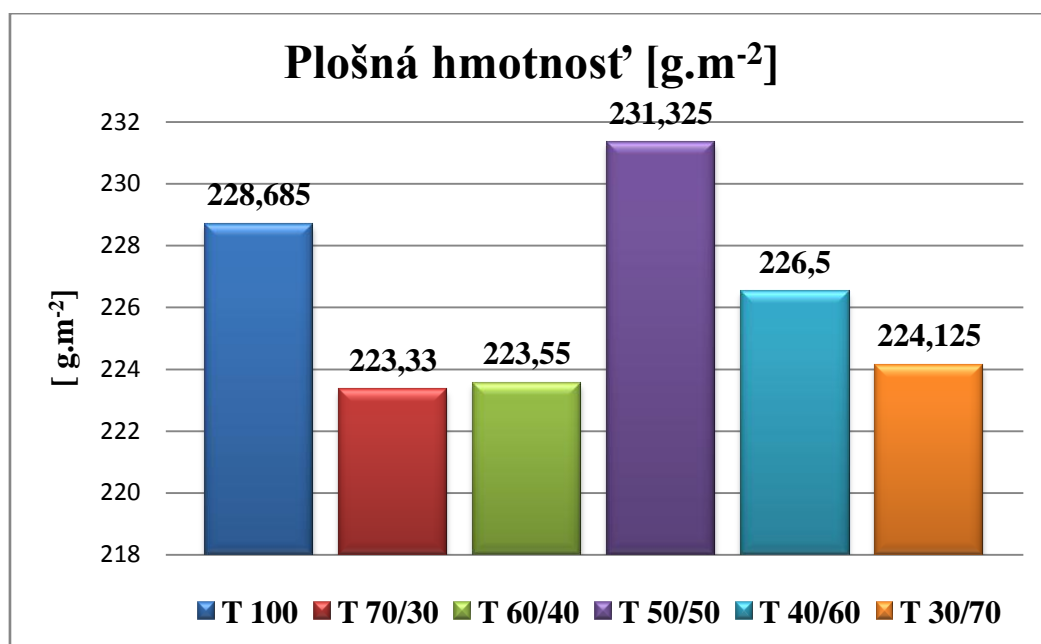
Hmotnosť každej vzorky sa stanovila vážením v normálnom ovzduší na analytických váhach Scaltec.

Vyjadrenie výsledkov:

Plošná hmotnosť každej skúšobnej vzorky sa vypočíta vynásobením hmotnosti vzorky s plochou vzorky. Plocha každej vzorky je 100 cm². Výsledkom merania sú priemerné hodnoty plošnej hmotnosti každej skúšobnej vzorky. Výsledky merania sú uvedené v Tab. 7 a grafické znázornenie Obr. 13 .

Tab. 7 Plošná hmotnosť textílie [g.m⁻²]

Vzorka číslo	Plošná hmotnosť [g.m ⁻²] \bar{x}	v [%]	s
T 100	228,6850	0,1227	0,2804
T 70/30	223,3300	0,1064	0,2375
T 60/40	223,5500	0,3763	0,8411
T 50/50	231,3250	0,5907	1,3663
T 40/60	226,5000	0,3490	0,7905
T 30/70	224,1250	0,3300	0,7395

Obr. 13 Plošná hmotnosť textílie [g.m⁻²]

Na obr. 13 je plošná hmotnosť meraných vzoriek zoradená podľa materiálového zloženia od 100% aramid- VS FR po 30% aramid- VS FR / 70% ba-PES. Z nameraných hodnôt vyplýva, že najhoršiu plošnú hmotnosť má textília T50/50 s hodnotou 231,325 g.m⁻². Ako druhá textília vyšla T 100 s hodnotou 228,685 g.m⁻² a hneď vzorka T 40/60 s 226,5 g.m⁻² a T 30/70 s hodnotou 224,125 g.m⁻². Ako najlepšie materiály vychádzajú skúšobné vzorky T 70/30 s hodnotou 223,33 g.m⁻² a T 60/40 s hodnotou 223,55 g.m⁻². Nižšia hodnota znamená nižšiu hmotnosť odevu, čo je z hľadiska komfortu nosenia dôležitý parameter. Je potrebné však brať do úvahy, že sa jedná o rezné tkaniny, teda neupravené. Následne farbenie maskovacím vzorom ovplyvní plošnú hmotnosť pravdepodobne jej zvýšením.

3.3.2 Stanovenie priepustnosti vzduchu

Skúška stanovenia priepustnosti vzduchu pri podtlaku 200 Pa sa vykonávala podľa metodiky STN EN ISO 9237: 1998 *Textílie. Stanovenie priepustnosti vzduchu plošnými textíliami* [8].

Podstata skúšky:

Meria sa rýchlosť prúdu vzduchu prechádzajúceho kolmo cez plochu tkaniny pri stanovenom rozdieli tlaku medzi oboma stranami skúšobnej plochy počas stanoveného časového intervalu.

Skúšobné prístroje a zariadenia:

Použitá dýza, (plocha skúšanej vzorky) 20cm^2

Manometer, pripojený na skúšobnú hlavicu na meranie poklesu tlaku na druhej strane skúšobnej vzorky 200 Pa

Zariadenie na dosiahnutie konštantného prietoku vzduchu, na nastavenie rýchlosti prietoku vzduchu skúšobnou vzorkou a na vytvorenie poklesu tlaku na druhej strane vzorky od 50 Pa do 500 Pa

Prietokomer

Merač objemu, ktorý meria rýchlosť prietoku vzduchu dm^3 za 1 min (liter za minútu)

Kompletná zostava prístroja na meranie priepustnosti vzduchu (Obr. 14).



Obr. 14 Prístroj na meranie priepustnosti vzduchu typu FF – 12/A

Klimatické podmienky:

Teplota vzduchu : $21 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$

Relatívna vlhkosť : $62 \pm 5\%$

Skúšobné podmienky boli pre všetky skúšobné vzorky rovnaké.

Príprava vzoriek:

Z každej skúšanej textílie odobrať vzorku s rozmermi 10 x 10cm (100 cm²).

Postup skúšky:

Zapnúť nasávací ventilátor a postupne nastavovať prietok vzduchu tak, aby na druhej strane plochy vznikol pokles tlaku 200 Pa. Po jednej minúte alebo po dosiahnutí ustálených podmienok zaznamenať prietok vzduchu. Skúšku opakovať za rovnakých podmienok 5-krát na rôznych miestach skúšobnej vzorky.

Vyjadrenie výsledkov:

Vypočíta sa priepustnosť vzduchu R vyjadrená v milimetroch za sekundu podľa

vzorca:
$$R = \frac{q_v}{A} \cdot 167$$

kde q_v je rýchlosť prietoku vzduchu v kubických decimetroch za minútu (l/min)

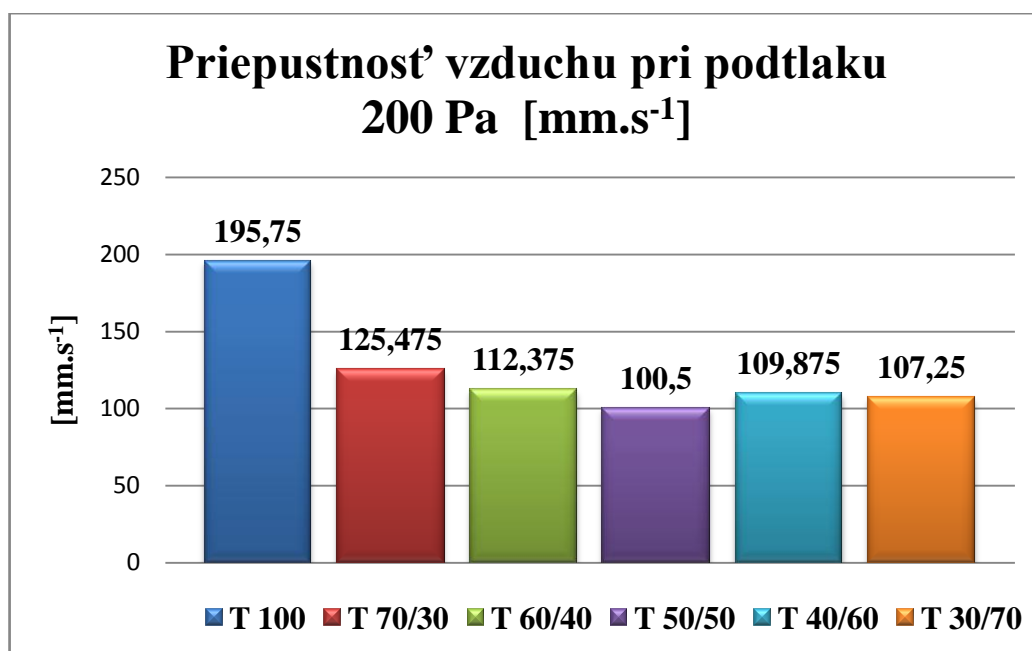
A skúšaná plocha textílie v štvorcových centimetroch

167 prepočítavací faktor v kubických decimetroch za minútu na štvorcový centimeter

Vypočíta sa aritmetický priemer, smerodajná odchýlka a variačný koeficient priepustnosti vzduchu. Výsledky merania sú uvedené v Tab. 8 o Obr. 15.

Tab. 8 Priepustnosť vzduchu pri podtlaku 200 Pa [mm.s⁻¹]

Vzorka číslo	Priepustnosť vzduchu pri podtlaku 200 Pa[mm.s ⁻¹] \bar{x}	v [%]	s
T 100	195,7500	0,4236	0,8291
T 70/30	125,4750	0,6888	0,8642
T 60/40	112,3750	1,1506	1,2930
T 50/50	100,5000	1,1125	1,1180
T 40/60	109,8750	0,8124	0,8926
T 30/70	107,2500	0,2136	0,2291



Obr. 15 Priepustnosť vzduchu pri podtlaku 200 Pa[mm.s⁻¹]

Na obr. 15 je priepustnosť vzduchu pri podtlaku 200 Pa meraných vzoriek zoradená podľa materiálového zloženia od 100% aramid- VS FR po 30% aramid- VS FR / 70% ba- PES. Z grafu vyplýva, že s klesajúcim percentom zloženia aramid- VS FR sa znižujú aj hodnoty priepustnosti vzduchu čo znamená, že textília s nižšou hodnotou lepšie chráni človeka voči prieniku vetra. Z nameraných hodnôt vyplýva, že najhoršiu hodnotu má textília T 100 s hodnotou 195,75 mm.s⁻¹. Ako najlepšie materiály vychádzajú skúšobné vzorky T 50/50 s hodnotou 100,5 mm.s⁻¹ a T 30/70 s hodnotou 107,25 mm.s⁻¹. Je potrebné brať do úvahy, že sa jedná o rezné tkaniny, teda neupravené. Následne farbenie maskovacím vzorom ovplyvní priepustnosť vzduchu pravdepodobne jej zvýšením.

3.3.3 Stanovenie pevnosti

STN EN ISO 13934- 1: 2001 *Textílie. Ťahové vlastnosti plošných textílií. Časť 1: Zisťovanie maximálnej sily a ťažnosti pri maximálnej sile metódou Strip* [9].

Podstata skúšky:

Skúšobnú vzorku plošnej textílie so stanovenými rozmermi napínať pri konštantnej rýchlosti do pretrhnutia.

- upínacia dĺžka 200 mm
- rýchlosť skúšky 100 mm. min⁻¹
- 5 kusov v smere osnovy a 5 kusov skúšaných vzoriek v smere útku

Skúšobné prístroje a zariadenia:

Prístroj s konštantným prírastkom predĺženia (CRE), (Obr. 16), musí mať zariadenie na meranie alebo záznam sily spôsobujúcej predĺženie vzorky až do jej pretrhnutia a zodpovedajúceho predĺženia skúšobnej vzorky, musí zabezpečovať konštantnú rýchlosť predlžovania 2 cm/min a 10 cm/min s presnosťou $\pm 10\%$ a upínacie zariadenie s presnosťou $\pm 0,1$ cm.



Obr. 16 Trhací stroj ZWICK

Klimatické podmienky:

- teplota 21°C
- relatívna vlhkosť vzduchu 62%

Príprava vzoriek:

Šírka každej skúšobnej vzorky musí byť 5 cm \pm 0,5 cm a dĺžka 30 cm. Vystrihnúť päť vzoriek v smere osnovy a päť v smere útku.

Postup skúšky:

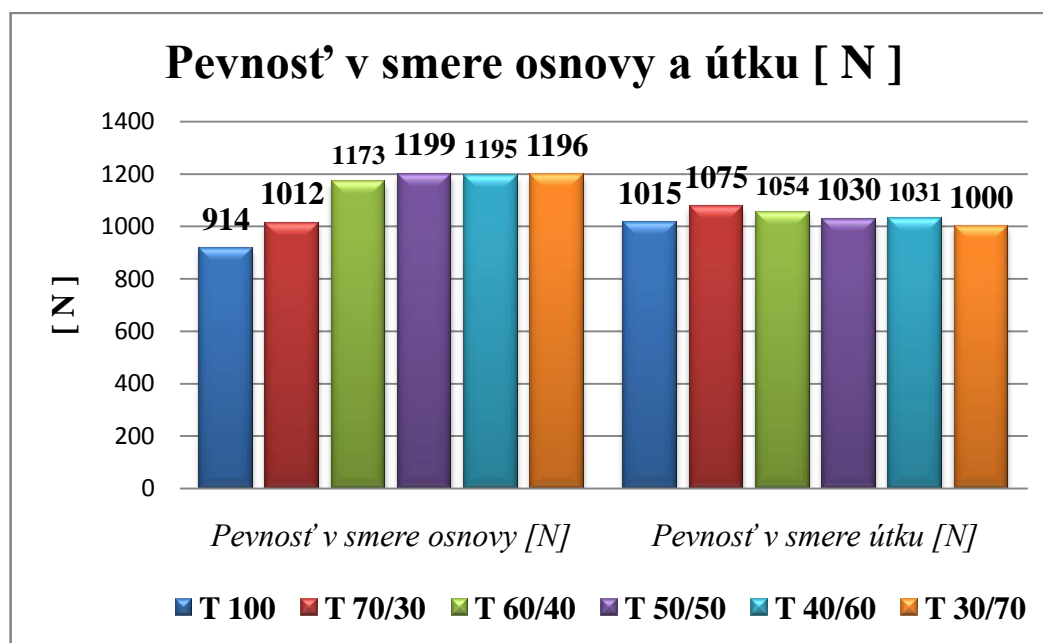
Na prístroji na skúšanie ťahom nastaviť upínaciu dĺžku 20 cm \pm 0,1 cm pre textílie s ťažnosťou pri maximálnej sile 75 % a rýchlosť predlžovania plošnej textílie 10 cm/min..

Vyjadrenie výsledkov:

Výsledky skúšok sú uvedené v Tab. 9 a grafické znázornenie Obr. 17.

Tab. 9 Pevnosť textílií v smere osnovy a útku [N]

Číslo vzorky	V smere osnovy \bar{x}	V smere útku \bar{x}	V smere osnovy v [%]	V smere útku v [%]	V smere osnovy s	V smere útku s
T 100	914	1015	0,3460	0,3037	3,1623	3,0822
T 70/30	1012	1075	0,1849	0,2942	1,8708	3,1623
T 60/40	1173	1054	0,3356	0,3000	3,9370	3,1622
T 50/50	1199	1030	0,5373	0,2659	6,4420	2,7386
T 40/60	1195	1031	0,3187	0,2473	3,8079	2,5495
T 30/70	1196	1000	0,2132	0,1581	2,5495	1,5811

**Obr. 17 Grafické znázornenie pevnosti textílií v smere osnovy a útku [N]**

V obr. 17 sú zobrazené hodnoty pevnosti v smere osnovy a v smere útku. Laboratórne skúšobné vzorky sú zoradené podľa materiálového zloženia od 100%

aramid- VS FR po 30% aramid- VS FR / 70% ba- PES. Z grafu vyplýva, že s klesajúcim percentom zloženia aramid- VS FR sa zvyšujú hodnoty pevnosti v smere osnovy. V smere útku sa pevnosti radikálne nemenia. Najvyššie pevnosti v *smere osnovy* dosiahnuté vzorkami textílií T 50/50 (1199 N), T 40/60 (1195 N), T 30/70 (1196 N). Naopak najnižšie vzorkou T 100 (914 N). Najvyššie pevnosti v *smere útku* vzorka T 70/30 (1075 N). Naopak najnižšiu hodnotu vzorka T 30/70 (1000 N). Z nameraných hodnôt vyplýva, že najmenšiu hodnotu pevností má textília T 100 a najvyššie hodnoty pevností T 50/50.

3.3.4 Stanovenie ľahkosti zapálenia textílií

Skúška na stanovenie ľahkosti zapálenia vzoriek sa vykonávala podľa STN EN ISO 6940: *Textílie. Horľavosť. Zisťovanie ľahkosti zapálenia zvisle umiestnených vzoriek* [10].

Podstata skúšky:

Pôsobenie plameňa špecifikovaného horáka na plochu alebo spodnú hranu skúšanej vzorky umiestnenej v zvislej polohe. Sledovanie či došlo ku zapáleniu a zaznamenávanie času pôsobenia plameňa na skúšobnú vzorku.

Skúšobné prístroje a zariadenia:

Vertikálna horľavosť sa stanovovala na prístroji Sherley Flammability Tester M 233 B od firmy SDL ATLAS (Obr. 18).

Prístroj pozostáva z nasledovných častí:

Upínací rám, umožňuje pridržiavať plynový horák a držiak skúšobnej vzorky v stanovenej vzájomnej polohe

Plynový horák, umožňuje vychýlenie z pohotovostnej polohy

Držiak skúšobnej vzorky, obdĺžnikový kovový rám, ktorý má v každom rohu hrot na pripevnenie vzorky

Plyn, propán

Zariadenie na meranie času, počítač, ktorý má v programe, na základe softvéru nastavené automatické meranie času pôsobenia plameňa s možnosťou odčítavania po 1

sekunde s presnosťou 0,2 sekundy. Toto zariadenie sa spúšťa automaticky v okamihu skončenia zapáľovania alebo odstránenia skúšobného plameňa.



Obr. 18 Prístroj Sherley Flammability Tester M 233 B

Klimatické podmienky:

Teplota vzduchu : $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$

Relatívna vlhkosť : $42 \pm 5 \%$

Skúšobné podmienky boli pre všetky skúšobné vzorky rovnaké.

Príprava vzoriek:

Z plochy každej vzorky skúšanej textílie sa vystrihlo v pozdĺžnom smere 5 skúšobných vzoriek pre meranie ľahkosti zapálenia povrchu 8cm x 8cm.

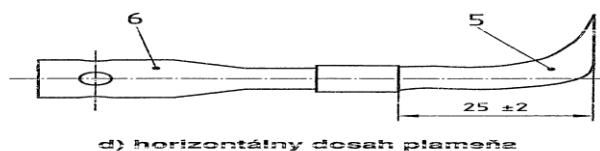
Postup skúšky:

Postup A: Zapálenie povrchu

Na hroty držiaka sa umiestnila skúšobná vzorka, tak že jej zadná strana bola vzdialená 20 mm od obdĺžnikového kovového rámu držiaka. Držiak so skúšobnou vzorkou sa upevnil vo zvislej polohe na upínací rám. Horák sa pomocou páky na vodiacej hlavici nastavil do pohotovostnej - štartovacej polohy. Následne sa ventilom nastavila výška plameňa na 40 mm.

Hlavica s horákom bola vytiahnutá dohora na maximum. Horák sa pomocou páky nastavil do pracovnej – horizontálnej polohy a skontrolovala sa správnosť polohy plameňa proti skúšanej vzorke. Horizontálny dosah plameňa sa nastavil na 25 mm (Obr.

19). Potom sa spustila tzv. „pilotná skúška“ na stanovenie orientačného času horenia vzorky. Pozorne sa sledoval priebeh horenia a v momente, keď vzorka začala horieť sa v počítači zaznamenal orientačný čas, kedy začala vzorka horieť. Na základe tohto času sa odpočítaval čas zapálenia vzorky v sekundách. Plameňom sa pôsobí na textíliu po čas, ktorý bol zistený ako približný minimálny čas potrebný na zapálenie. Zaznamenával sa čas pôsobenia plameňa a či došlo ku zapáleniu. Do držiaka sa pripevnila nová vzorka orientovaná rovnakým smerom. Všetky vzorky boli merané po dĺžke. Ak došlo u predchádzajúcej vzorky k zapáleniu, skrátil sa čas pôsobenia plameňa o 1 sekundu, ak u predchádzajúcej vzorky nedošlo ku zapáleniu, predĺžil sa čas pôsobenia plameňa o 1 sekundu.



Obr. 19 Horizontálny dosah plameňa (5-plameň, 6- horák)

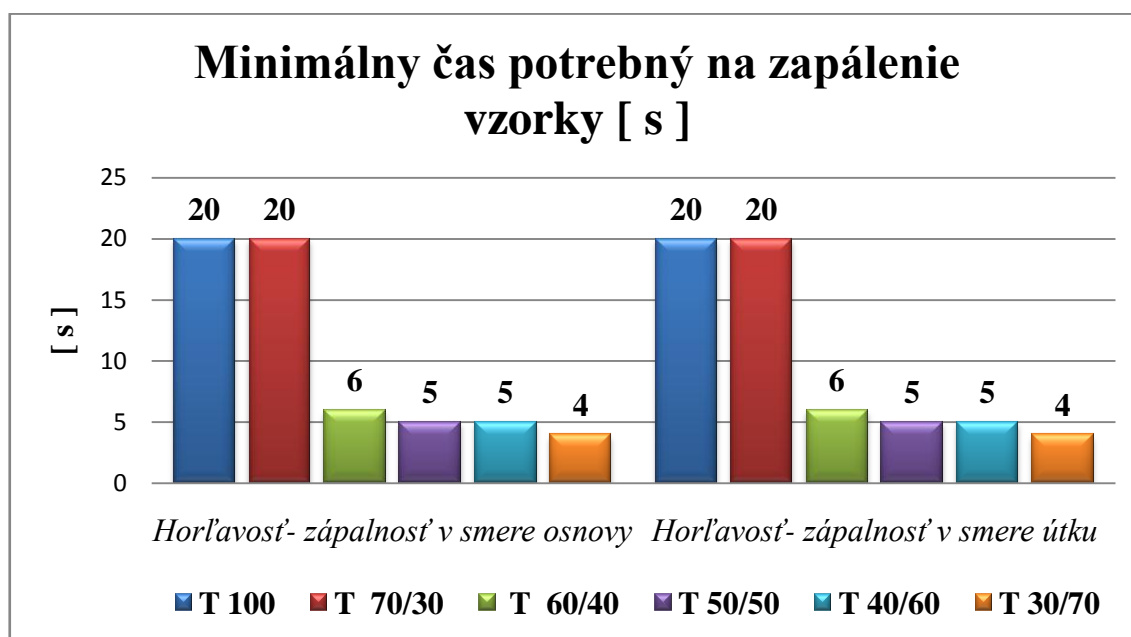
Vyjadrenie výsledkov:

Výsledky skúšok sú uvedené v Tab. 16, ktorá zahŕňa počty prípadov zapálenia a nezapálenia, ktoré sa vyskytli pri každom čase pôsobenia plameňa. Ak sa nezapálenie vyskytlo v menej prípadoch, z hodnôt sa vypočítala priemerná hodnota zaznamenaných časov, keď nedošlo k zapáleniu.

Výsledky priemerných časov, keď nedošlo k zapáleniu a priemerný čas zapálenia vzoriek sú uvedené v Tab. 10 a graficky spracované na Obr. 20. Tieto hodnoty boli automaticky vyhodnotené programom, ktorý je súčasťou softvéru na meranie vertikálnej horľavosti.

Tab. 10 Priemerný minimálny čas potrebný na zapálenie vzorky [s]

Vzorka číslo	Priemerný minimálny čas potrebný na zapálenie vzorky [s]	
	v smere osnovy v [%]/s	v smere útku v [%]/s
T 100	> 20 6,1200/2,4495	> 20 2,9814/1,1180
T 70/30	> 20 3,5422/1,4142	> 20 1,1321/0,4330
T 60/40	6 7,5321/0,4330	6 7,5307/0,4330
T 50/50	5 8,2543/0,4330	5 8,2479/0,4330
T 40/60	5 9,1213/0,4330	5 9,1161/0,4330
T 30/70	4 10,1913/0,4330	4 11,1111/0,5000



Obr. 20 Grafické znázornenie priemerného minimálneho času potrebného na zapálenie vzorky [s]

V obr. 20 sú graficky zobrazené hodnoty priemerného minimálneho času potrebného na zapálenie vzorky textílie. Laboratórne vzorky T 100 a T 70/30 nezačnú horieť ani po pôsobení plameňom po 20 sekundách. Vzorka T 30/70 začne horieť po 4 sekundách. Z grafu vyplýva závislosť na materiálomvom zložení. Laboratórne skúšobné

vzorky sú zoradené podľa materiálového zloženia od 100% aramid- VS FR po 30% aramid- VS FR / 70% ba- PES. Z grafu vyplýva, že s klesajúcim percentom zloženia aramid- VS FR sa znižuje čas potrebný na zapálenie, čo je nevyhovujúce.

3.3.5 Horľavosť- ohraničené šírenie plameňa

Pre stanovenie ohraničeného šírenia plameňa je používaná norma STN EN ISO 15025: 2003 *Ochranné odevy. Ochrana proti teplu a ohňu. Metóda skúšania ohraničeného šírenia plameňa* [11].

Podstata skúšky:

Táto norma špecifikuje metódu na stanovenie vlastností pri ohraničenom šírení plameňa na zvisle umiestnených textíliách a priemyselných výrobkoch.

Skúšobné prístroje a zariadenia:

Na meranie ohraničeného šírenia plameňa bol použitý rovnaký prístroj ako na meranie zápalnosti multifunkčných textílií. Popis zariadenia je uvedený v predchádzajúcej kapitole.

Klimatické podmienky:

Teplota vzduchu : $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$

Relatívna vlhkosť : $42 \pm 5 \%$

Príprava vzoriek:

Z plochy každej vzorky skúšanej textílie sa vystrihlo v pozdĺžnom smere 3 skúšobné vzorky a v smere útku 3 skúšobné vzorky s rozmermi 8 x 8 cm.

Postup skúšky:

Postup A: Zapálenie povrchu

Vyjadrenie výsledkov:

Vyjadrenie výsledkov skúšky pre stanovenie ohraničeného šírenia plameňa sú uvedené v Tab. 11 a graficky znázornené Obr. 25, 26.



Obr. 21 Zvyšok po horení vzorky multifunkčnej tkaniny T 30/70 v smere útku



Obr. 22 Zvyšok po horení vzorky multifunkčnej tkaniny T 30/70 v smere osnovy



Obr. 23 Zvyšok po horení vzorky multifunkčnej tkaniny T 40/60 v smere útku

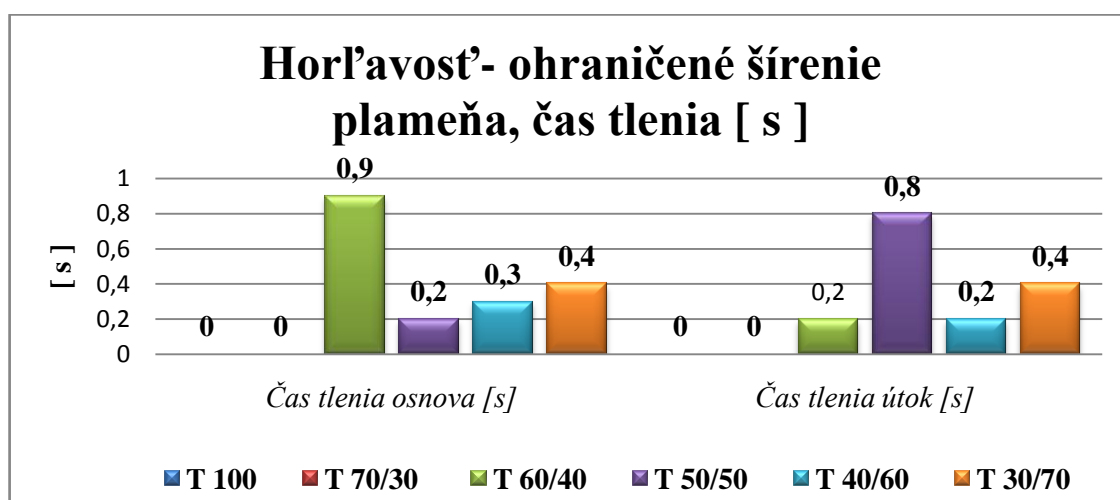


Obr. 24 Zvyšok po horení vzorky multifunkčnej tkaniny T 40/60 v smere osnovy

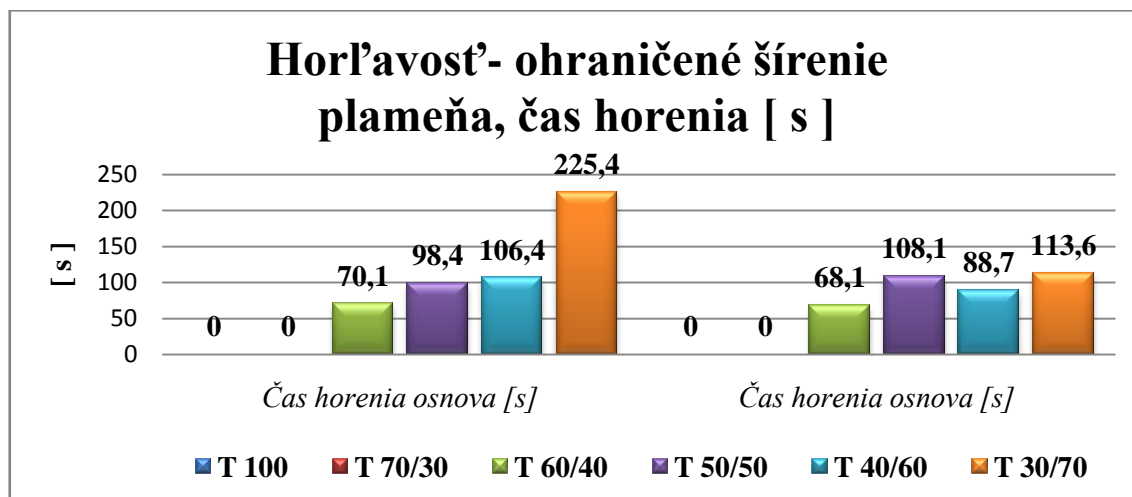
Tab. 11 Horľavosť- ohraničené šírenie plameňa, čas tlenia [s]

Vzorka číslo	v smere	horela/nehorela	čas tlenia [s] \bar{x} v [%]/s	čas horenia [s] \bar{x} v [%]/s	úlomky	filtračný papier	diera
T 100	osnovy	nehorela	-	-	-	-	-
	útku	nehorela	-	-	-	-	-
T 70/30	osnovy	nehorela	-	-	-	-	-
	útku	nehorela	-	-	-	-	-
T 60/40	osnovy	horela	0,9 → 0 3,9284/0,0354	70,1 1,0102/0,7071	nie	nie	nie

	útku	horela	0,2→ 0 5,3814/0,0109	68,1 0,4340/0,2958	nie	nie	nie
T 50/50	osnovy	horela	0,2→ 0 5,3814/0,0109	98,4 1,0881/1,0712	nie	nie	áno
	útku	horela	0,8→ 0 4,4194/0,0354	108,1 1,3095/1,4142	nie	nie	áno
T 40/60	osnovy	horela	0,3→ 0 14,9071/0,0447	106,4 0,2849/0,3031	nie	nie	áno
	útku	horela	0,2→ 0 5,3814/0,0109	88,7 0,1466/0,1299	nie	nie	áno
T 30/70	osnovy	zhorela	0,4→ 0 1,7678/0,0071	225,4 0,3796/0,8559	nie	nie	-
	útku	takmer zhorela	0,4→ 0 1,7678/0,0071	113,6 0,3197/0,3631	nie	nie	-



Obr. 25 Horľavosť- ohraničené šírenie plameňa, čas tlenia [s]



Obr. 26 Horľavosť- ohraničené šírenie plameňa, čas horenia [s]

Z obr. 25 a 26 vidieť hodnoty týkajúce sa horľavosti- ohraničeného šírenia plameňa. V prvom grafe sú hodnoty týkajúce sa času tlenia, v druhom hodnoty času horenia. Laboratórne vzorky T 100 a T 70/30 netlejú ani nehoria ani v smere osnovy ani v útku. Skúšobná laboratórna vzorka T 60/40 má v smere osnovy najdlhší čas tlenia a v smere útku je to tkanina T 50/50. V čase horenia je na tom najhoršie v *smere osnovy* u textílie T 30/70 (225,4) a v *smere útku* T 50/50 (108,1 s) a T 30/70 (113,6 s). Z grafu vyplýva závislosť na materiálovom zložení. Laboratórne skúšobné vzorky sú zoradené podľa materiálového zloženia od 100% aramid- VS FR po 30% aramid- VS FR / 70% ba- PES. Vidieť, že s klesajúcim percentom zloženia aramid- VS FR sa zvyšuje čas tlenia a čas horenia.

Vyššie hodnoty výsledných časov sú menej vyhovujúce.

3.3.6 Súhrnná tabuľka funkčných parametrov multifunkčných tkanín

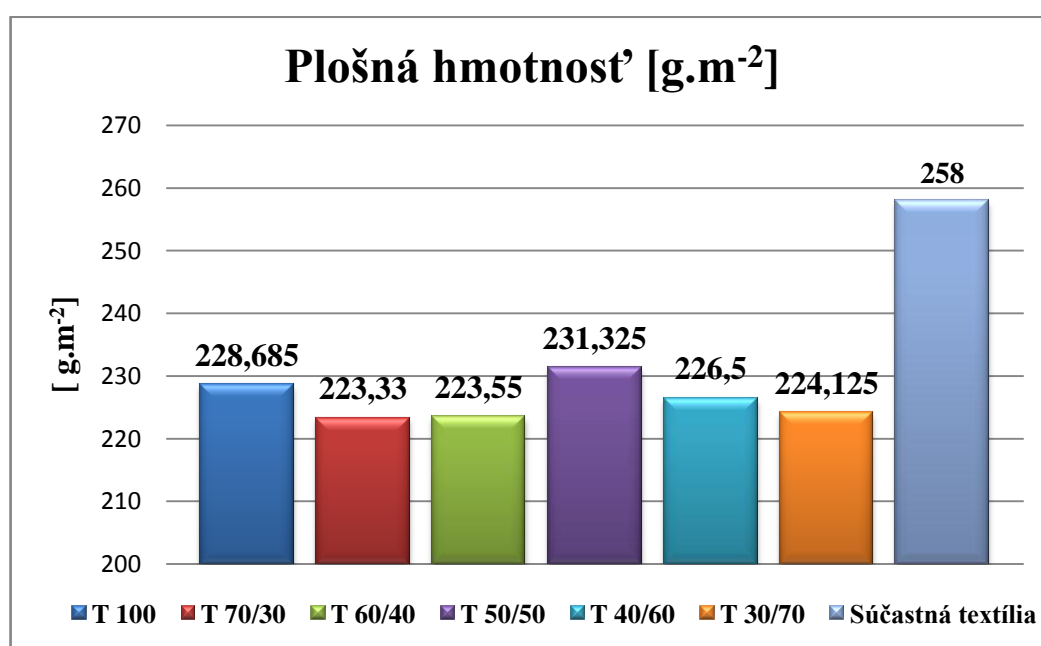
Tab. 12 Dosiahnuté výsledky laboratórnych vzoriek multifunkčných textílií

Vzorka číslo	T 100	T 70/30	T 60/40	T 50/50	T 40/60	T 30/70	Súčasná textília
Plošná hmotnosť [g/m ²]	228,6850	223,3300	223,5500	231,3250	226,5000	224,1250	258
Priepustnosť vzduchu [mm.s ⁻¹]	195,7500	125,4750	112,3750	100,5000	109,8750	107,2500	131,5
Pevnosť [N]	914	1 012	1 173	1 199	1 195	1 196	1 000
- v smere osnovy	1 015	1 075	1 054	1 030	1 031	1 000	600
- v smere útku							
Horľavosť – zápalnosť [s]	>20	>20	6	5	5	4	4
- v smere osnovy	>20	>20	6	5	5	4	4
- v smere útku							
Horľavosť – ohraničené šírenie plameňa (osnova / útok):	vzorka nehorela	vzorka nehorela	vzorka horela	vzorka horela	vzorka zhorela celá	vzorka zhorela takmer celá	
- horenie [áno/nie]	nie / nie	nie / nie	áno / áno	áno / áno	áno / áno	áno / áno	áno / áno
- čas horenia [s]	- / -	- / -	70,1 / 68,1	98,4 / 108,1	106,4 / 88,7	225,4 / 113,6	91,82
- čas tlenia [s]	- / -	- / -	0,9 / 0,2	0,2 / 0,8	0,3 / 0,2	0,4 / 0,4	21,68
- odpadnuté úlomky [áno/nie]	nie / nie	nie / nie	nie / nie	nie / nie	nie / nie	nie / nie	
- zapálený filtračný papier [áno/nie]	nie / nie	nie / nie	nie / nie	nie / nie	nie / nie	nie / nie	áno / áno

3.4 Vyhodnotenie výsledkov laboratórnych skúšok, konštrukčné a fyzikálno- mechanické parametre textílií určených pre bojové odevy vojakov

Multifunkčné tkaniny boli pripravené zo zmesných priadzí v rôznom podielovom zložení v konštrukcii tkaniny. Boli priamo pre potreby tejto diplomovej práce navrhnuté v šiestich základných variantách.

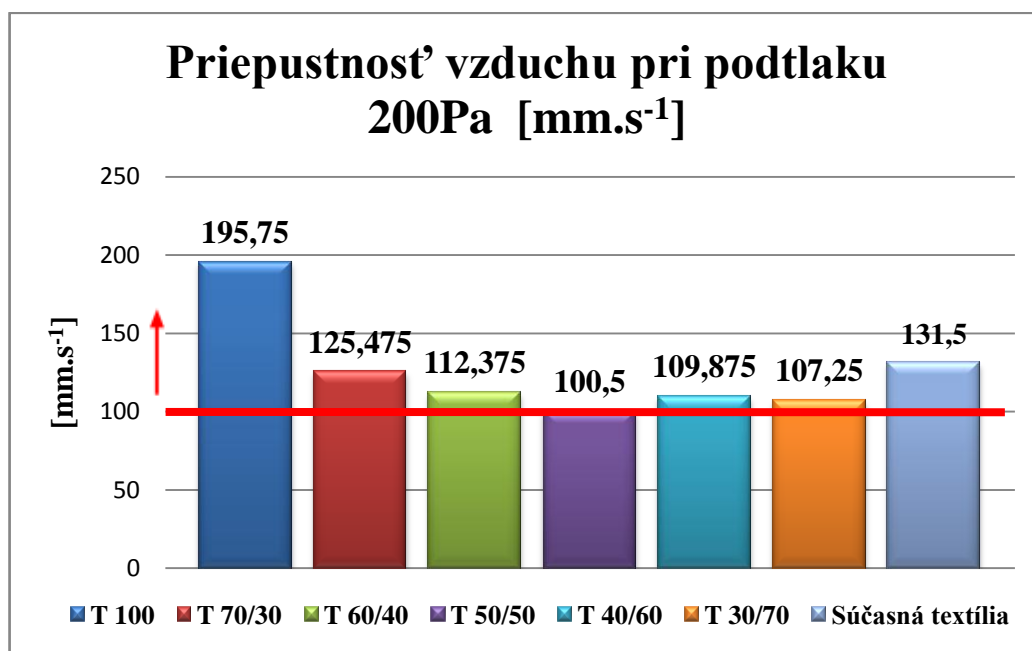
Plošná hmotnosť používanej súčasnej textílie pre poľnú rovnošatu 2007-digitalizovaná potlač- les je 258 g.m^{-2} .



Obr. 27 Plošná hmotnosť [g.m^{-2}]

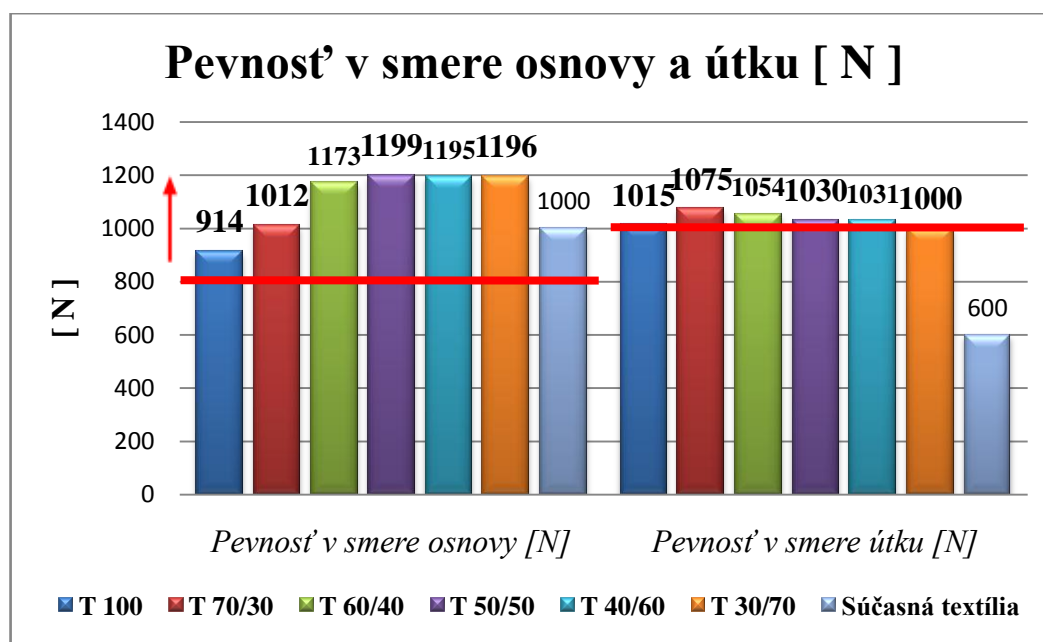
Na obr. 27 je plošná hmotnosť meraných vzoriek zoradená podľa materiálového zloženia od 100% aramid- VS FR po 30% aramid- VS FR / 70% ba- PES a ako posledná je súčasná textília. Z nameraných hodnôt vyplýva, že najhoršiu plošnú hmotnosť má textília T50/50 s hodnotou $231,325 \text{ g.m}^{-2}$ ale stále je nižšia ako súčasná textília (258 g.m^{-2}). Ako najlepšie materiály vychádzajú skúšobné vzorky T 70/30 s hodnotou $223,33 \text{ g.m}^{-2}$ a T 60/40 s hodnotou $223,55 \text{ g.m}^{-2}$. Nižšia hodnota znamená nižšiu hmotnosť odevu, čo je z hľadiska komfortu nosenia dôležitý parameter. Je

potrebné však brať do úvahy, že sa jedná o rezné tkaniny, teda neupravené. Následne farbenie maskovacím vzorom ovplyvní plošnú hmotnosť pravdepodobne jej zvýšením.



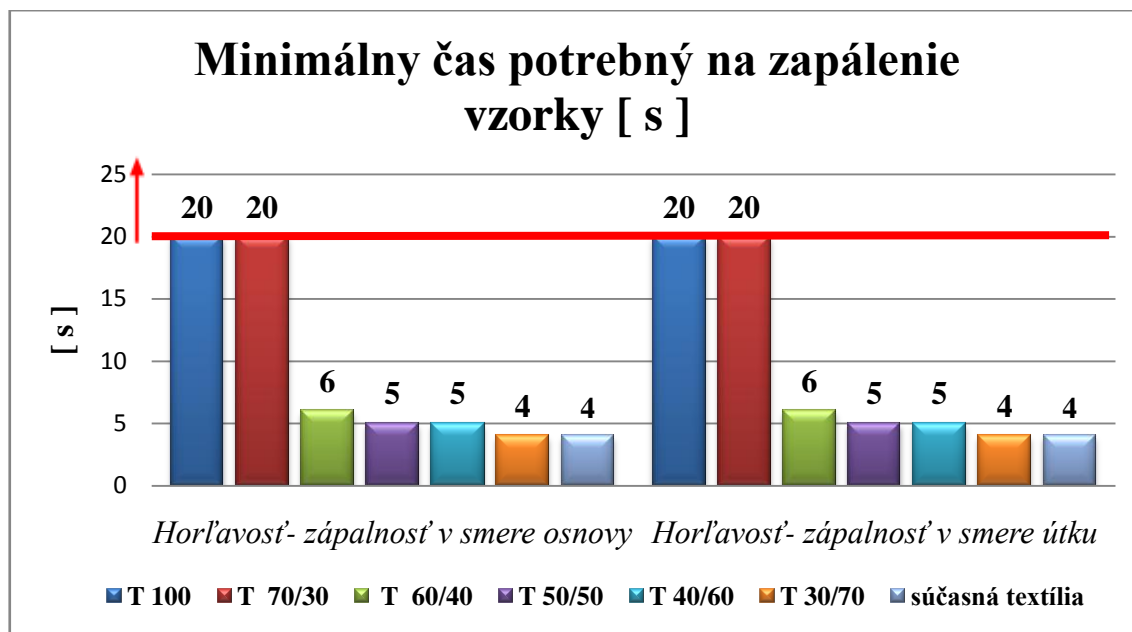
Obr. 28 Priepustnosť vzduchu pri podtlaku 200Pa [mm.s⁻¹]

Na obr. 28 je priepustnosť vzduchu pri podtlaku 200Pa meraných vzoriek zoradená podľa materiálového zloženia od 100% aramid- VS FR po 30% aramid- VS FR / 70% ba- PES a ako posledná je súčasná textília. Z grafu vyplýva, že s klesajúcim percentom zloženia aramid- VS FR sa znižujú aj hodnoty priepustnosti vzduchu čo znamená, že textília s nižšou hodnotou lepšie chráni človeka voči prieniku vetra. Z nameraných hodnôt vyplýva, že najhoršiu hodnotu má textília T 100 s hodnotou 195,75 mm.s⁻¹. Ako najlepšie materiály vychádzajú skúšobné vzorky T 50/50 s hodnotou 100,5 mm.s⁻¹ a T 30/70 s hodnotou 107,25 mm.s⁻¹. Je potrebné brať do úvahy, že sa jednalo o rezné tkaniny, teda neupravené. Následne farbenie maskovacím vzorom ovplyvní priepustnosť vzduchu pravdepodobne jej zvýšením. Multifunkčnosť spočíva v dosiahnutí viacerých parametrov. Pre priepustnosť vzduchu pri podtlaku 200Pa má byť hodnota vyššia ako 100 mm.s⁻¹. **Všetky skúšobné vzorky podmienku spĺňajú.**



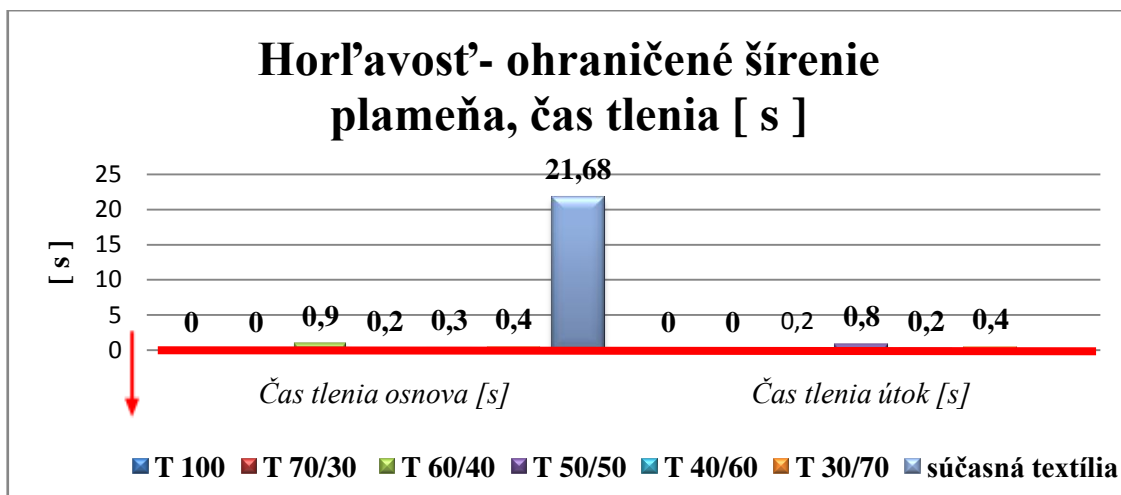
Obr. 29 Grafické znázornenie pevnosti textílií v smere osnovy a útku [N]

V obr. 29 sú zobrazené hodnoty pevnosti v smere osnovy a v smere útku. Laboratórne skúšobné vzorky sú zoradené podľa materiálového zloženia od 100% aramid- VS FR po 30% aramid- VS FR / 70% ba- PES a ako posledná je súčasná textília. Z grafu vyplýva, že s klesajúcim percentom zloženia aramid- VS FR sa zvyšujú hodnoty pevnosti v smere osnovy. V smere útku sa pevnosti radikálne nemenia. Najvyššie pevnosti v *smere osnovy* dosiahli vzorky textílií T 50/50 (1199 N), T 40/60 (1195 N), T 30/70 (1196 N). Naopak najnižšie vzorka T 100 (914 N). Najvyššie pevnosti v *smere útku* dosiahla vzorka T 70/30 (1075 N). Naopak najnižšiu hodnotu vzorka T 30/70 (1000 N). Z nameraných hodnôt vyplýva, že najmenšiu hodnotu pevnosti má textília T 100 a najvyššie hodnoty pevnosti T 50/50. Multifunkčnosť spočíva v dosiahnutí viacerých parametrov. Pre zvýšenú pevnosť platí, že po osnove má mať minimálne 800 N a v smere útku minimálne 1000 N. Súčasná textília tieto požiadavky nespĺňa. **Všetky skúšobné vzorky podmienku spĺňajú.**

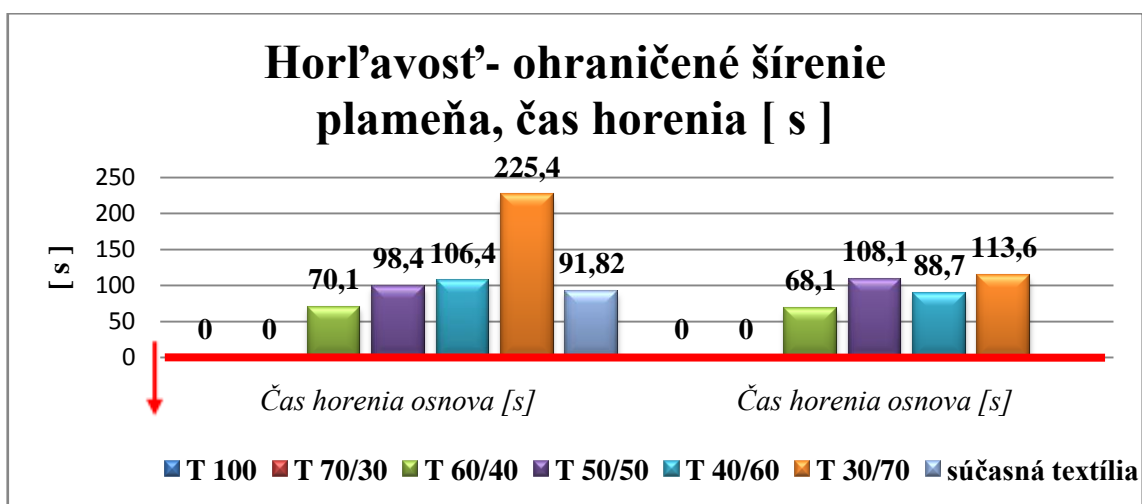


Obr. 30 Grafické znázornenie priemerného minimálneho času potrebného na zapálenie vzorky [s]

V obr. 30 sú graficky zobrazené hodnoty priemerného minimálneho času potrebného na zapálenie vzorky textílie. Laboratórne vzorky T 100 a T 70/30 nezačnú horieť ani po pôsobení plameňom po 20 sekundách. Vzorka T 30/70 začne horieť po 4 sekundách. Z grafu vyplýva závislosť na materiálovom zložení. Laboratórne skúšobné vzorky sú zoradené podľa materiálového zloženia od 100% aramid- VS FR po 30% aramid- VS FR / 70% ba- PES a ako posledná je súčasná textília. Z grafu vyplýva, že s klesajúcim percentom zloženia aramid- VS FR sa znižuje čas potrebný na zapálenie, čo je nevyhovujúce. Multifunkčnosť spočíva v dosiahnutí viacerých parametrov. Pre zvýšenie priemerný minimálny čas potrebný na zapálenie je daná hodnota >20 s. Súčasná textília tieto požiadavky nespĺňa. **Podmienku spĺňajú dve vzorky, T 100 a T 70/30 .**



Obr. 31 Horľavosť- ohraničené šírenie plameňa, čas tlenia [s]



Obr. 32 Horľavosť- ohraničené šírenie plameňa, čas horenia [s]

Z obr. 25 a 26 vidieť hodnoty týkajúce sa horľavosti- ohraničeného šírenia plameňa. V prvom grafe sú hodnoty týkajúce sa času tlenia, v druhom hodnoty času horenia. Laboratórne vzorky T 100 a T 70/30 netlejú ani nehoria ani v smere osnove ani v útku. Skúšobná laboratórna vzorka T 60/40 má v smere osnove najdlhší čas tlenia a v smere útku je to tkanina T 50/50. V čase horenia je na tom najhoršie v *smere osnove* u textílie T 30/70 (225,4) a v *smere útku* T 50/50 (108,1 s) a T 30/70 (113,6 s). Z grafu vyplýva závislosť na materiálovom zložení. Vidieť, že s klesajúcim percentom zloženia aramid- VS FR sa zvyšuje čas tlenia a čas horenia. Vyššie hodnoty výsledných časov sú pre nás menej vyhovujúce. Multifunkčnosť spočíva v dosiahnutí viacerých parametrov. Pre ohraničené šírenie plameňa je daná hodnota 0s pre čas horenia aj tlenia. Súčasná textília tieto požiadavky nespĺňa. **Podmienku spĺňajú dve vzorky, T 100 a T 70/30 .**

3.4.1 Zhrnutie výsledkov laboratórnych skúšok, konštrukčné a fyzikálno-mechanické parametre textílií určených pre bojové odevy vojakov

Najhoršiu nameranú plošnú hmotnosť má textília T50/50 s hodnotou 231,325 g.m⁻² ale stále je nižšia ako súčasná textília (258 g.m⁻²). Ako najlepšie materiály vychádzajú skúšobné vzorky T 70/30 a T 60/40. Nižšia hodnota znamená nižšiu hmotnosť odevu, čo je z hľadiska komfortu nosenia dôležitý parameter. Je potrebné brať do úvahy, že sa jedná o rezné tkaniny, teda neupravené. Následne farbenie maskovacím vzorom ovplyvní plošnú hmotnosť aj priepustnosť vzduchu pravdepodobne jej zvýšením. S klesajúcim percentom zloženia aramid- VS FR sa znižujú hodnoty priepustnosti vzduchu čo znamená, že textília s nižšou hodnotou lepšie chráni človeka voči prieniku vetra. Z nameraných hodnôt vyplýva, že najhoršiu hodnotu má textília T 100. Ako najlepšie materiály vychádzajú skúšobné vzorky T 50/50 a T 30/70 s hodnotou. Multifunkčnosť spočíva v dosiahnutí viacerých parametrov. Pre priepustnosť vzduchu pri podtlaku 200Pa má byť hodnota vyššia ako 100 mm.s⁻¹. Skúšobné vzorky podmienku priepustnosti vzduchu spĺňajú.

S klesajúcim percentom zloženia aramid- VS FR sa zvyšujú i hodnoty pevnosti v smere osnovy. Z nameraných hodnôt vyplýva, že najmenšiu hodnotu pevnosti má textília T 100 a najvyššie hodnoty pevnosti T 50/50. Pre zvýšenú pevnosť je stanovené, že po osnove má mať minimálne 800 N a v smere útku minimálne 1000 N. Súčasná textília tieto požiadavky nespĺňa. Všetky skúšobné vzorky podmienku pevnosti spĺňajú.

Laboratórne vzorky T 100 a T 70/30 nezačali horieť ani po pôsobení plameňom po 20 sekundách. Vyplýva závislosť na materiálomvom zložení, s klesajúcim percentom zloženia aramid- VS FR sa znižuje čas potrebný na zapálenie, čo je nevyhovujúce. Pre priemerný minimálny čas potrebného na zapálenie je daná hodnota >20 s. Súčasná textília požiadavky na zápalnosť, čas tlenia a čas horenia nespĺňa. Pre ohraničené šírenie plameňa je daná hodnota 0s pre čas horenia aj tlenia. Podmienku spĺňajú dve vzorky, T 100 a T 70/30, ktoré netlejú ani nehoria.

Skúšobné vzorky T 100 a T 70/30 sú z hľadiska konštrukčných a fyzikálno-mechanických parametrov určených pre bojové odevy vojakov najlepšie vyhovujúce z dôvodu splnenia žiadaných parametrov a dosiahnutia veľmi dobrých výsledkov týkajúcich sa stanovenia ľahkosti zapálenia a horľavosti.

4. Laboratórne overenie hydrofóbnej úpravy

Na pripravené multifunkčné tkaniny bola za účelom dosiahnutia hydrofóbných až superhydrofóbných vlastností so samočistiacim efektom overená aplikácia hydrofóbných nanosólov, ktoré sú výsledkom výskumu spol. VÚTCH-CHEMITEX s r.o. Žilina.

4.1 Aplikácia hydrofóbnej úpravy na báze nánosov.

V laboratórnych podmienkach VÚTCH-CHEMITEX, spol. s r.o. Žilina bola overená príprava 3 typov špeciálnych hydrofóbných nanosólov pod pracovným označením HF-1, HF-2 a HF-3. Z hľadiska chemického zloženia sa jedná o nanosóly na báze zmesi rôznych typov prekursorov z organicko-anorganických solí, pripravených na báze kremíka. V laboratórnych podmienkach bola overená technológia prípravy výroby koncentrátov a aplikačných roztokov jednotlivých typov hydrofóbných nanosólov.

4.1.1 Laboratórne overenie aplikácie špeciálnych typov nanosólov na textílie

Multifunkčné textílie boli upravené postupom nanášania aplikačných roztokov hydrofóbných nanosólov na povrch textilných materiálov na laboratórnom fixačnom zariadení FY Mathis (Obr. 33). Technologický postup úpravy textílií pozostával z niekoľkých základných operácií (nános, odžmyk, sušenie, fixácia) pri stanovených optimálnych pracovných podmienkach (teplota, čas).

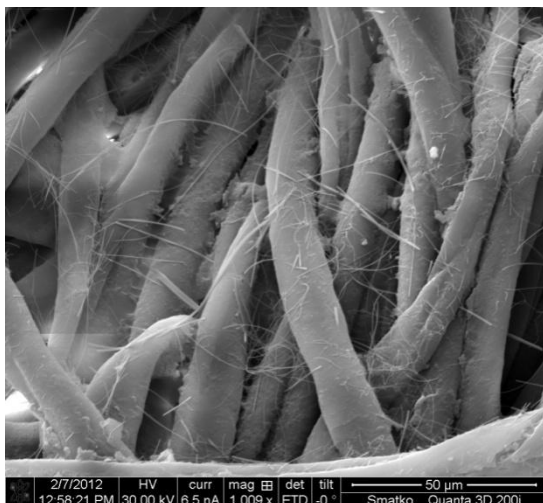


Obr. 33 Fixačné zariadenie Mathis.

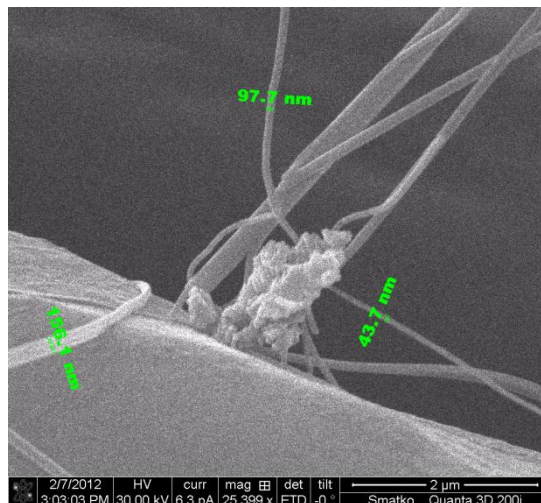
4.1.2 Analyzovaný povrch hydrofóbnej úpravy

V ÚPo SAV (Ústav polymérov SAV) bolo vykonané snímanie a analýza povrchu vzoriek multifunkčných textílií pomocou rastrovacej elektrónovej mikroskopie (Scanning Electron Microscopy, SEM). Je to metóda založená na zobrazovaní povrchu pomocou sekundárnych a odrážajúcich sa elektrónov.

Pred samotným meraním boli vopred pripravené vzorky pozlátené vo vákuu za prítomnosti plazmy a Argónu. Následne boli vzorky vložené do elektrónového mikroskopu QUANTA 3D 200i FEI, na ktorých bol analyzovaný povrch najmä z hľadiska dôkazu hydrofóbnej úpravy pri rôznych zväčšeniach. (Obr. 34) . Pri nanoúprave musí minimálne jeden rozmer spĺňať hodnotu pod 100nm (Obr. 35).



Obr. 34 Dôkaz prítomnosti hydrofóbnej úpravy na povrchu multifunkčnej textílie upravenej hydrofóbnym nanosólom HF-3 pri zväčšení 50µm



Obr. 35 Hydrofóbná úprava pri zväčšení 2µm

4.1.3 Vyhodnotenie funkčných vlastností upravených vzoriek textílií

Účinnosť a stabilita hydrofóbných nanosólov na upravených vzorkách textílií pred aj po niekoľkých cykloch údržby (1 cykle, 3 cykloch, 5-tich cykloch prania), bola overená stanovením nasledovných parametrov:

- *kontaktným statickým uhlom* (ďalej len „KSU“) podľa Interného predpisu skúšobného laboratória (ďalej len „IPS“) č. 31583814/101/2000/2010 „Stanovenie kontaktného statického uhla textílií“ na modernom, vysoko špecializovanom zariadení Goniometer DSA 30
- *uhlom rolovania kvapky* (ďalej len „UR“) podľa IPS 31583814/73/80/2008 „Stanovenie uhla rolovania na plošných textíliách“ na unikátnom zariadení Roltest 9-11
Stanovenie uhla rolovania sa používa na plošných hydrofóbnych textíliách, špeciálne na plošných textíliách s nanoštrukturalizovaným hydrofóbnym povrchom.
Uhol rolovania α napodobňuje odperľovací efekt kvapky kvapaliny na tuhom povrchu a tiež charakterizuje dynamiku odstránenia kvapky z povrchu. Je definovaný ako uhol, ktorý zvierá podložka s textíliou s vodorovnou rovinou, pri ktorom prejde kvapka dráhu $l = 30\text{mm}$ od miesta naniesenia
- *spray testom* podľa STN EN 24 920 : 1997 „Textílie. Stanovenie odolnosti plošných textílií proti povrchovému zmáčaniu (kropiaca metóda). Zmáčanie povrchu pod tlakom“

4.1.3.1 Stanovenie uhla rolovania na plošných textíliách

Skúška podľa IPS 31583814/73/80/2008 „Stanovenie uhla rolovania na plošných textíliách“ na unikátnom zariadení Roltest 9-11 [12].

Podstata skúšky:

Na vzorku textílie sa nanesie kvapka vody definovaného objemu. Jeden koniec podložky sa dvíha a meria sa uhol α , pri ktorom prejde kvapka dráhu l od miesta naniesenia .

Skúšobné prístroje a zariadenia:

ROLTEST 9-11, prístroj na meranie uhla rolovania (Obr. 36).

Mikropipeta, s variabilným objemom $10\div 100\mu\text{l}$.



Obr. 36 Roltest 9- 11 prístroj na meranie uhla rolovania kvapky [22]

Klimatické podmienky:

Teplota vzduchu : $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$

Relatívna vlhkosť : $42 \pm 5 \%$

Destilovaná alebo demineralizovaná voda ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$).

Príprava vzoriek:

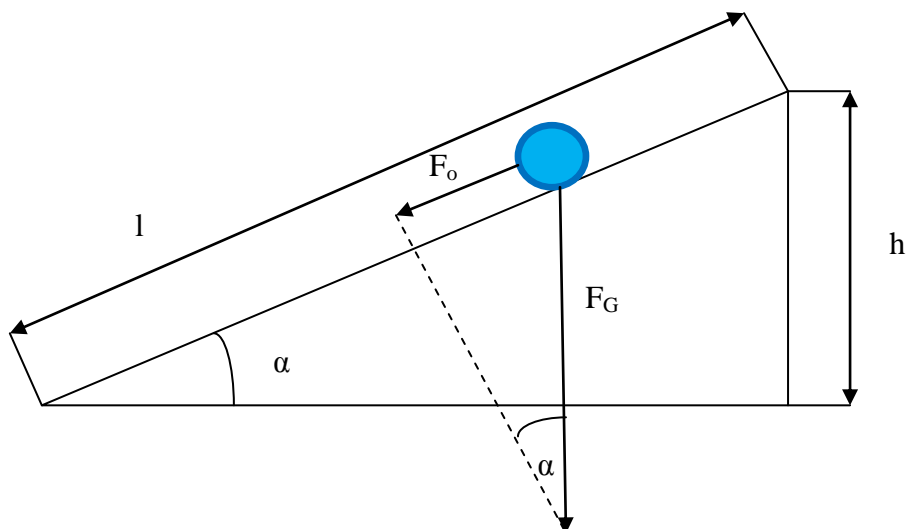
Klimatizovanie vzorky minimálne 24 hodín pri izbovej teplote. Z každej dodávky sa odoberie minimálne 5 vzoriek s rozmermi 25x200mm (dlhšia strana v smere osnovy). Vzorka musí byť bez zlomov a skladov na textílii.

Postup skúšky:

Upevniť skúšobnú vzorku na vodorovnú podložku, povrch textílie musí byť rovný. Pomocou mikropipety nanieť kvapku vody s objemom $60\mu\text{l}$ do určenej vzdialenosti od snímača. Na prístroji je automatické zastavenie dvíhanej plošiny. Na displeji prístroja sa zobrazí hodnota uhla, pri ktorom nanosená kvapka vody samovoľným pohybom prešla cez mikrosnímač.

Vyjadrenie výsledkov:

Na vzorku textílie sa nanesie kvapka vody definovaného objemu. Jeden koniec podložky sa dvíha a meria sa uhol α , pri ktorom prejde kvapka dráhu l od miesta nanesenia (Obr. 37).



Obr. 37 Stanovenie uhla rolovania na plošných textíliách

Značky a skratky:

α uhol rolovania

l dĺžka dráhy, ktorú musí kvapka prekonať

$\bar{\alpha}$ aritmetický priemer uhla rolovania

s_{α} smerodatná odchýlka aritmetického priemeru uhla rolovania

u_{α} neistota typu merania uhla rolovania

n počet meraní

Výsledkom je uhol rolovania $\bar{\alpha}$ [°]. V prípade ak:

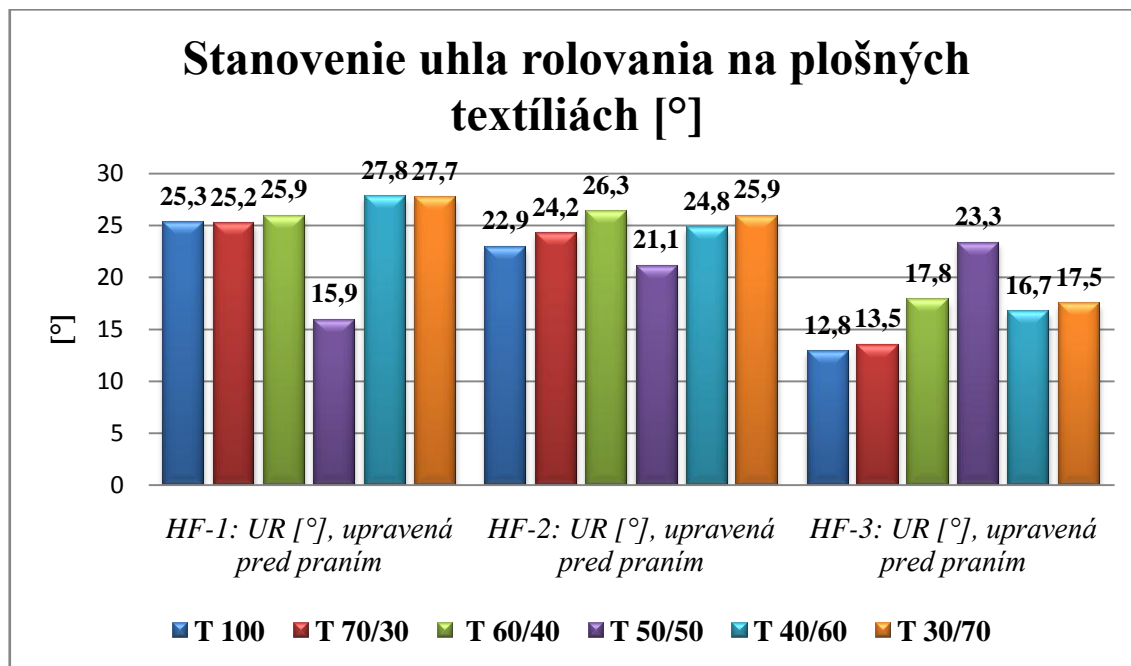
$\bar{\alpha} \leq 20^{\circ}$ skúšobná textília má pravdepodobne nanoštrukturalizovaný povrch a môže mať samočistiace vlastnosti

$\bar{\alpha} > 20^{\circ}$ skúšobná textília nemá pravdepodobne nanoštrukturalizovaný povrch a nemôže mať samočistiace vlastnosti

Vyjadrenie výsledkov skúšky stanovenia uhla rolovania na plošných textíliách sú uvedené v Tab. 13 a graficky znázornené Obr. 38.

Tab. 13 Parametre uhla rolovania laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF-1, HF-2 a HF-3.

Hydrofóbný nanosól	Vzorka číslo	Uhol rolovania UR [°]				
		bez úpravy	upravená			
			pred praním \bar{x} v [%]/s	po 1. cykle prania \bar{x} v [%]/s	po 3. cykle prania \bar{x} v [%]/s	po 5. cykle prania \bar{x} v [%]/s
HF-1	T 100	vzlínala	25,3 2,8501/0,7189	24,5 1,3638/0,3345	22,9 0,6905/0,1581	25,2 1,0825/0,2739
	T 70/30	vzlínala	25,2 1,7054/0,4272	28,8 0,6271/0,1803	24,4 0,9164/0,2236	-
	T 60/40	vzlínala	25,9 1,5981/0,4123	22,2 1,4244/0,3162	23,1 0,9680/0,2236	-
	T 50/50	vzlínala	15,9 2,3652/0,3767	22,8 1,6882/0,3841	26,5 1,3606/0,3606	41,4 2,6941/1,1180
	T 40/60	vzlínala	27,8 0,8257/0,2291	28,5 1,2487/0,3562	27,3 0,8378/0,2291	38,1 0,5582/0,2121
	T 30/70	vzlínala	27,7 1,4312/0,3961	22,1 1,2156/0,2693	27,8 0,9851/0,2739	35,9 0,8265/0,2966
HF-2	T 100	vzlínala	22,9 1,6520/0,3775	22,5 1,8671/0,4206	25,9 1,5683/0,4062	24,3 1,2435/0,3031
	T 70/30	vzlínala	24,2 1,1149/0,2693	28,3 1,6441/0,4657	24,4 1,8129/0,4437	41,6 2,3634/0,9601
	T 60/40	vzlínala	26,3 0,8066/0,2121	26,5 1,7157/0,4555	30,2 0,7575/0,2291	27,6 1,1208/0,3082
	T 50/50	vzlínala	21,1 1,4769/0,3112	21,8 2,0944/0,4555	24,5 2,0728/0,5099	-
	T 40/60	vzlínala	24,8 2,1475/0,5315	23,5 2,1606/0,5099	53,7 1,9034/1,0207	36,8 2,2562/0,8292
	T 30/70	vzlínala	25,9 1,4081/0,3640	42,2 4,5451/1,9203	29,8 1,3167/0,3937	27,5 1,0728/0,2947
HF-3	T 100	vzlínala	12,8 1,1049/0,1414	22,9 0,8443/0,1934	23,7 1,0712/0,2550	24,2 0,5844/0,1414
	T 70/30	vzlínala	13,5 1,0935/0,1479	20,9 0,7565/0,1581	15,4 0,9588/0,1479	19 0,7874/0,1500
	T 60/40	vzlínala	17,8 0,6299/0,1118	15,6 1,1519/0,1803	22,9 0,4872/0,1118	25,8 0,3727/0,960
	T 50/50	vzlínala	23,3 1,1543/0,2681	18,8 0,7522/0,1414	20,2 1,0231/0,2062	20,1 1,1428/0,2291
	T 40/60	vzlínala	16,7 1,7108/0,2861	17,7 1,0570/0,1871	14,1 1,0508/0,1479	26,6 1,3715/0,3646
	T 30/70	vzlínala	17,5 1,7613/0,3082	17,1 1,1246/0,1920	19,6 0,9545/0,1871	17,2 1,0451/0,1803



Obr. 38 Stanovenie uhla rolovania na plošných textíliách

Na obr. 38 sú hodnoty stanovenia uhla rolovania na plošných textíliách, vzorky sú zoradené podľa materiálového zloženia od 100% aramid- VS FR po 30% aramid- VS FR / 70% ba- PES. Na vzorky bol nanesený hydrofóbny nanosól HF-1, HF-2 a HF-3. Najmenšie hodnoty uhla rolovania dosiahol hydrofóbny nanosól HF-3. Nanosóly HF-2 a HF-1 mali podobné výsledné hodnoty.

4.1.3.2 Stanovenie kontaktného statického uhla textílií

Interný predpis je určený na zaistenie hydrofóbných vlastností textílií. Skúška sa vykonáva podľa Interného predpisu skúšobného laboratória č. 31583814/101/2000/2010 „Stanovenie kontaktného statického uhla textílií“ na modernom, vysoko špecializovanom zariadení Goniometer DSA 30 [13].

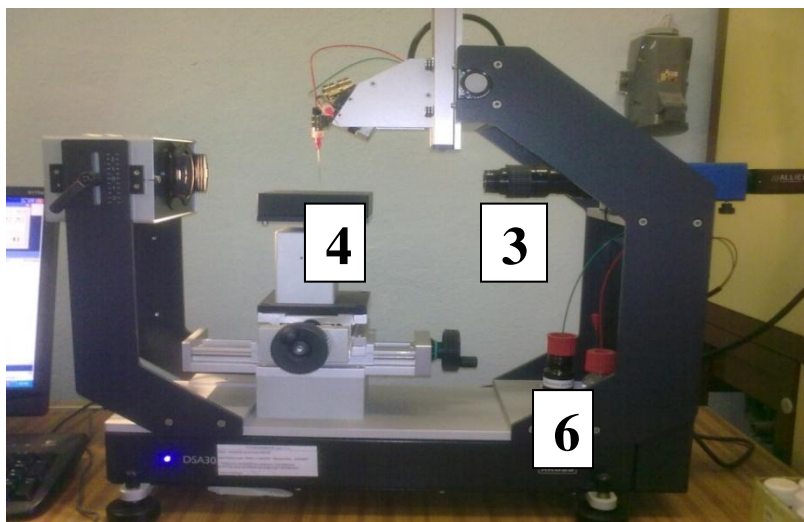
Podstata skúšky:

Podstatou je stanovenie kontaktného statického uhla na povrchu textilného materiálu. Povrch je upravený hydrofóbnou úpravou a pomocou špeciálneho softwaru je vypočítaná hodnota voľnej povrchovej energie.

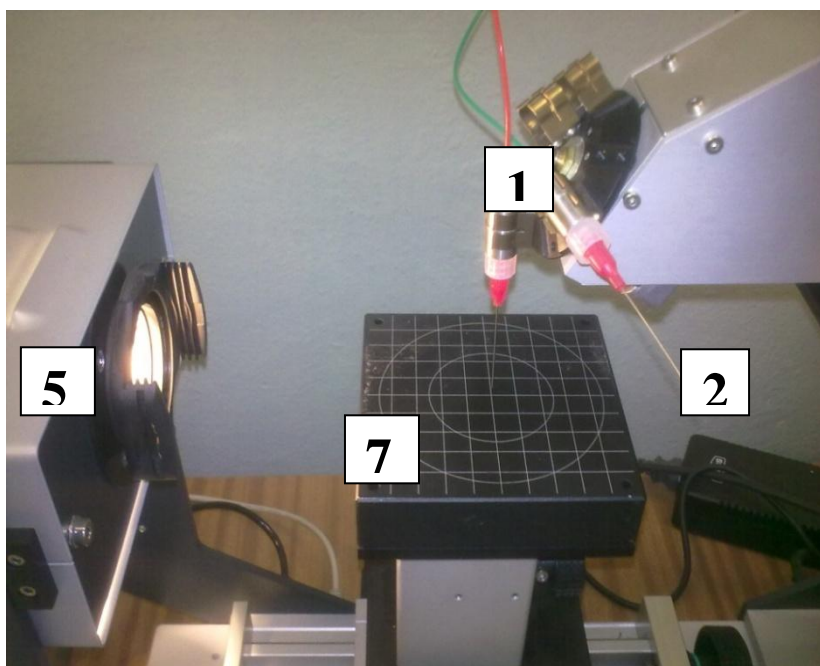
Skúšobné prístroje a zariadenia:

Pravítko, nožnice

Meracie zariadenie: GONIOMETER DSA 30 od firmy KRÚSS (Obr. 39, 40)



Obr. 39 GONIOMETER DSA 30 od firmy KRÚSS; (3) kamera, (4) držiak na vzorku, (6) fľaštička pre kvapaliny



Obr. 40 GONIOMETER DSA 30 od firmy KRÚSS; (1) pohybová hlavica s dávkovacími ihlami, (2) dávkovacia ihla, (5) osvetlenie, (7) pohyblivý stolík

Klimatické podmienky:

Teplota vzduchu : $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$

Relatívna vlhkosť : $42 \pm 5 \%$

Príprava vzoriek:

Odoberie sa minimálne 10 skúšobných vzoriek (5 pozdĺžne, 5 priečne) s rozmermi 40x80mm.

Postup skúšky:

1. Skúšobnú vzorku upevníme do držiaka vzorky a umiestnime ju na merací stolík.
2. Príprava dávkovacieho systému.
3. Stolík manuálne posúvame tak, aby vzorka bola v spodnej časti obrazu kamery.
4. Na vzorku umiestnime kvapku destilovanej vody, šírka kvapky má byť 2/3 šírky snímku (Obr. 41).
5. Na každej vzorke urobíme 10 paralérnych meraní. Software vypočíta priemernú hodnotu statického uhla.

Vyjadrenie výsledkov:

Kontaktný statický uhol " θ " je uhol, ktorý vznikne medzi rovinou povrchu a dotykovou rovinou k povrchu kvapky na rozhraní textílie s okolitým plynom a samotnou kvapkou.

Youngova rovnica:

$$\gamma_{sv} - \gamma_{sl} = \gamma_{lv} \cos \theta$$

γ_{sv}povrchové napätie na rozhraní tuhej látky s plynom [mN / m]

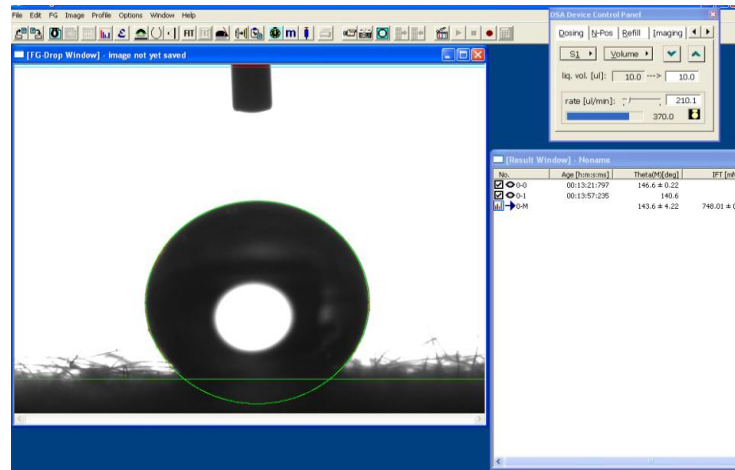
γ_{sl}povrchové napätie na rozhraní tuhej látky s kvapalinou [mN / m]

γ_{lv}povrchové napätie na rozhraní kvapaliny a okolitého plynu [mN / m]

θ kontaktný statický uhol [$^{\circ}$]

$\bar{\theta}$ aritmetický priemer kontaktného statického uhla [$^{\circ}$]

U..... rozšírená neistota [$^{\circ}$]



Obr. 41 Obrázok kvapky destilovanej vody na povrchu textilného materiálu zobrazená na monitore meracieho zariadenia

Kontaktný statický uhol (hydrofóbnosť)

Vypočíta sa ako priemer z 10-tich meraní:

- pri kontaktných uhloch $> 90^\circ$ (povrch textílie je nezmáčanlivý, textília má hydrofóbný povrch)
- kontaktný statický uhol $< 90^\circ$ (povrch textílie je zmáčanlivý, textília má hydrofilný povrch)
- kontaktný statický uhol blízky 0 (dokonalé zmáčanie povrchu textílie)

Výsledná hodnota sa vyjadrí v tvare:

$$\bar{\theta} \pm U [^\circ]$$

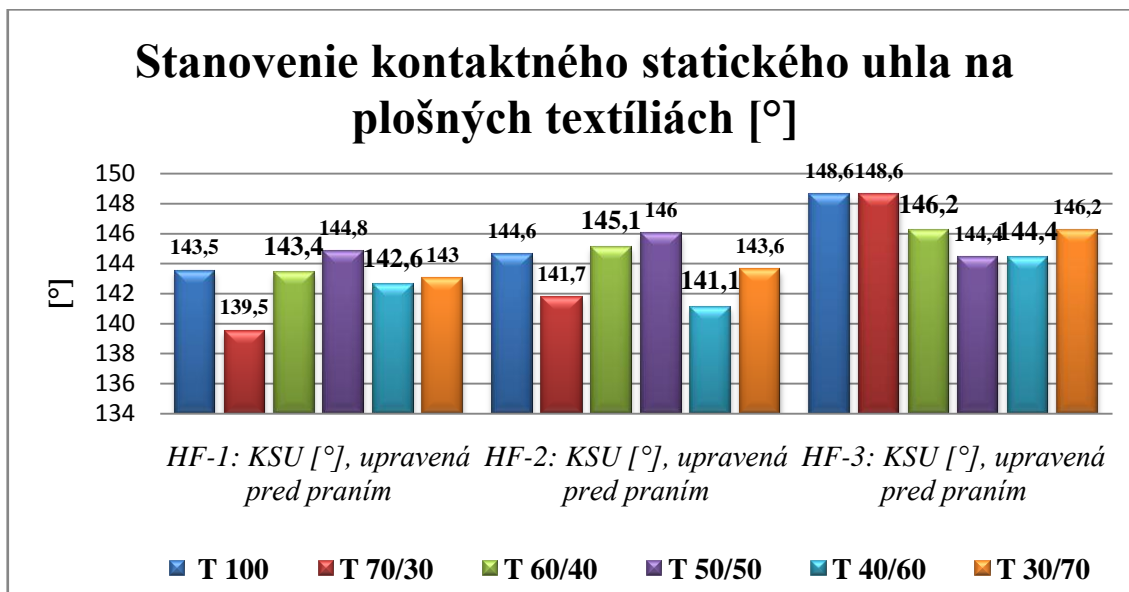
Výsledok sa môže však aj vyjadriť slovom napr.:

"skúšobná vzorka má hydrofóbný / hydrofilný povrch"

Vyjadrenie výsledkov skúšky stanovenia uhla rolovania na plošných textíliách sú uvedené v Tab. 14 a graficky znázornené Obr. 42.

Tab. 14 Parametre kontaktného statického uhla laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF-1, HF-2 a HF-3.

Hydrofóbný nanosól	Vzorka číslo	Kontaktný statický uhol KSU [°]				
		bez úpravy	upravená			
			pred praním \bar{x} v [%]/s	po 1. cykle prania \bar{x} v [%]/s	po 3. cykle prania \bar{x} v [%]/s	po 5. cykle prania \bar{x} v [%]/s
HF-1	T 100	vzlínala	143,5 1,8105/2,5981	145,7 2,5843/3,7666	144 1,9642/2,8284	146,2 1,7462/2,5495
	T 70/30	vzlínala	139,5 1,8391/2,5587	141,8 3,1007/4,3875	142,8 2,1804/3,1125	146,9 2,8757/4,2057
	T 60/40	vzlínala	143,4 1,5114/2,1651	143,3 1,4834/2,1213	143,1 1,4834/2,1213	146,2 1,7065/2,5000
	T 50/50	vzlínala	144,8 1,5421/2,2361	144,4 1,9836/2,8614	143,8 1,0453/1,5000	145,6 1,6174/2,3452
	T 40/60	vzlínala	142,6 1,8232/2,5981	142,5 1,1637/1,6583	143,2 1,5967/2,2913	146,1 1,0830/1,5811
	T 30/70	vzlínala	143,0 1,4834/2,1213	143,6 1,5967/2,2913	140,4 1,1294/1,5811	146,5 1,2814/1,8708
HF-2	T 100	vzlínala	144,6 2,0471/2,9580	144,2 1,7705/2,5495	147,3 1,7344/2,5495	145,8 1,6229/2,3552
	T 70/30	vzlínala	141,7 1,1214/1,5811	142,6 1,0066/1,4307	144,6 1,4563/2,1040	147,2 1,8630/2,7386
	T 60/40	vzlínala	145,1 1,5627/2,2776	144,2 1,0289/1,4790	143,5 2,5694/3,6742	145,5 1,9969/2,9155
	T 50/50	vzlínala	146,0 2,3069/3,3912	144,0 2,0576/2,9475	144,0 1,5967/2,2913	142,4 2,4883/3,5707
	T 40/60	vzlínala	141,1 1,0676/1,5000	144,6 1,9836/2,8614	142,8 1,3745/1,9545	146,7 0,7911/1,1584
	T 30/70	vzlínala	143,6 1,6827/2,4025	142,2 1,5144/2,1610	143,4 2,1013/3,0311	143,3 1,8472/2,6618
HF-3	T 100	vzlínala	148,6 1,8145/2,6706	145,2 1,1246/1,6376	146,4 2,4069/3,5454	147 3,0916/4,5354
	T 70/30	vzlínala	148,6 4,1550/6,1390	147,2 0,9977/1,4790	146 1,9222/2,8045	147,7 1,6932/2,4839
	T 60/40	vzlínala	146,2 2,8208/4,0620	144,0 1,7297/2,4843	146,0 2,9763/4,3229	143,7 1,7588/2,5239
	T 50/50	vzlínala	144,4 1,5995/2,3065	149,3 1,7891/2,6926	147,6 2,8867/4,3012	143,2 1,6081/2,3080
	T 40/60	vzlínala	144,4 1,5474/2,2185	146,6 2,1379/3,0935	145,7 1,4906/2,1651	146 1,9373/2,8284
	T 30/70	vzlínala	146,2 1,6363/2,3848	148,8 1,9064/2,8181	147,9 2,3952/3,5443	150,6 2,3569/3,5000



Obr. 42 Parametre kontaktného statického uhla laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF-1, HF-2 a HF-3.

Na obr. 42 sú hodnoty stanovenia kontaktného statického uhla na plošných textíliách, vzorky sú zoradené podľa materiálového zloženia od 100% aramid- VS FR po 30% aramid- VS FR / 70% ba- PES. Na vzorky bol nanosený hydrofóbný nanosól HF-1, HF-2 a HF-3. Najlepšie hodnoty KSU rolovania dosiahol hydrofóbný nanosól HF-3. Nanosóly HF-2 a HF-1 mali podobné výsledné hodnoty.

4.1.3.3 *Spray test*

Skúška na stanovenie *spray testom* podľa STN EN 24 920 : 1997 *Textílie. Stanovenie odolnosti plošných textílií proti povrchovému zmáčaniu (kropiaca metóda). Zmáčanie povrchu pod tlakom* [14].

Podstata skúšky:

Skúšobná vzorka upevnená v kruhovom držiaku pod uhlom 45° sa kropí stanoveným objemom destilovanej, demineralizovanej vody. Stred vzorky je v stanovenej vzdialenosti pod kropiacou trubicou. Stupeň zmáčania sa stanoví porovnaním vzhľadu povrchu.

Skúšobné prístroje a zariadenia:

Kropiace zariadenie (Obr. 43), skladá sa z lievika s priemerom 150mm vo zvislej polohe s kovovou hubicou, pripevnenou gumovou hadicou s priemerom 10mm na odtokový otvor. Dno kropiacej hubice je 190mm vzdialené od horného okraja lievika.

Kovová kropiaca hubica, s vypuklou čelnou plochou s priemerom 19mm a s 19 otvormi. Doba výtoku 250ml vody z lievika je 25- 30s.

Držiak vzorky, dva kovové alebo drevené krúžky, vnútorný priemer jedného krúžku 150mm a vonkajší priemer druhého 150mm. Krúžky do seba zapadajú. Medzi ne kladieme vzorku, krúžky umiestniť pod uhlom 45° a 150mm pod stred čelnej plochy kropiacej hadice.

Destilovaná, demineralizovaná voda



Obr. 43 Kropiace zariadenie, Spray test [23]

Klimatické podmienky:

Teplota vzduchu : $22 \pm 2^\circ\text{C}$

Relatívna vlhkosť : $42 \pm 5 \%$

Príprava vzoriek:

Odobrat' najmenej 3 skúšobné vzorky tvaru štvorca s dĺžkou strany 180mm.

Postup skúšky:

Klimatizované skúšobné vzorky upevniť do držiaka lícom hore. Vzorku umiestniť na podložku, smer osnovy by mal byť paralelný so smerom stekania vody po

vzorku. Do lievika naliať 250ml vody tak, aby kropenie nebolo prerušené. Po skončení kropenia vziať držiak so vzorkou a dvakrát s ním udrieť o pevný predmet. Počas tohto postupu musí byť plocha plošnej textílie vo vodorovnej polohe lícom dole.

Po odstránení prebytočnej vody z povrchu sa vzorka v držiaku hodnotí podľa opisnej alebo fotografickej stupnice. Hodnotenie medzistupňami sa nepoužíva.

Vyjadrenie výsledkov:

Stupne zmáčania povrchu:

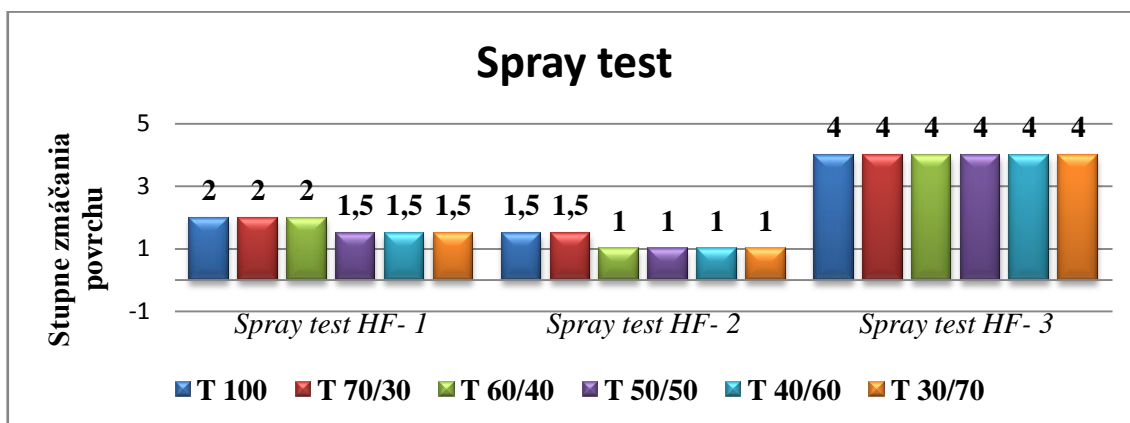
- 1 zmáčanie celého pokropeného povrchu
- 2 zmáčanie polovice pokropeného povrchu, splynutie malých oddelených plôch
- 3 zmáčanie pokropenej plochy len v malých oddelených plochách
- 4 žiadne zmáčanie, len zachytené kvapky na pokropenej ploche
- 5 žiadne zmáčanie, žiadne zachytené kvapky na pokropenej ploche

Vyjadrenie výsledkov skúšky Spray testu sú uvedené v Tab. 15 a graficky znázornené Obr. 44.

Tab. 15 Spray test

Vzorka číslo	HF- 1	HF- 2	HF- 3
T 100	2	2- 1	4
T 70/30	2	2- 1	4
T 60/40	2	1	4
T 50/50	2- 1	1	4
T 40/60	2- 1	1	4
T 30/70	2- 1	1	4

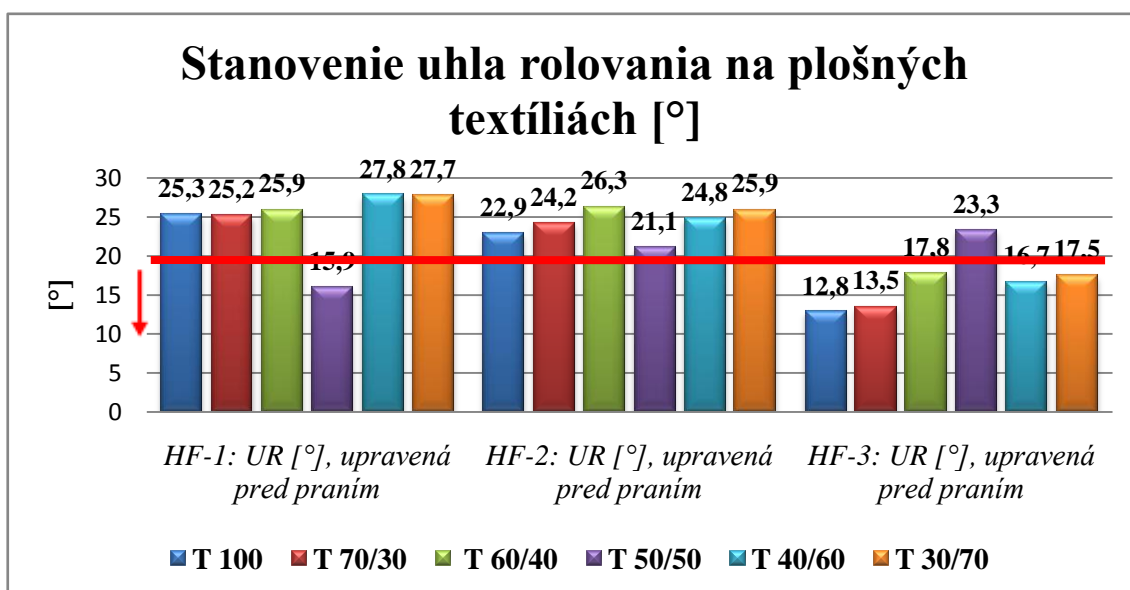
Na obr. 44 sú hodnoty stupňov zmáčania povrchu textílií, vzorky sú zoradené podľa materiálového zloženia od 100% aramid- VS FR po 30% aramid- VS FR / 70% ba- PES. Na vzorky nanosený hydrofóbny nanosól HF-1, HF-2 a HF-3. Najlepšie hodnoty spray testu dosiahnuté hydrofóbnym nanosólom HF-3, stupeň 4. Nasleduje nanosól HF-1 a ako najhorší sa javí nanosól HF-2.



Obr. 44 Spray test

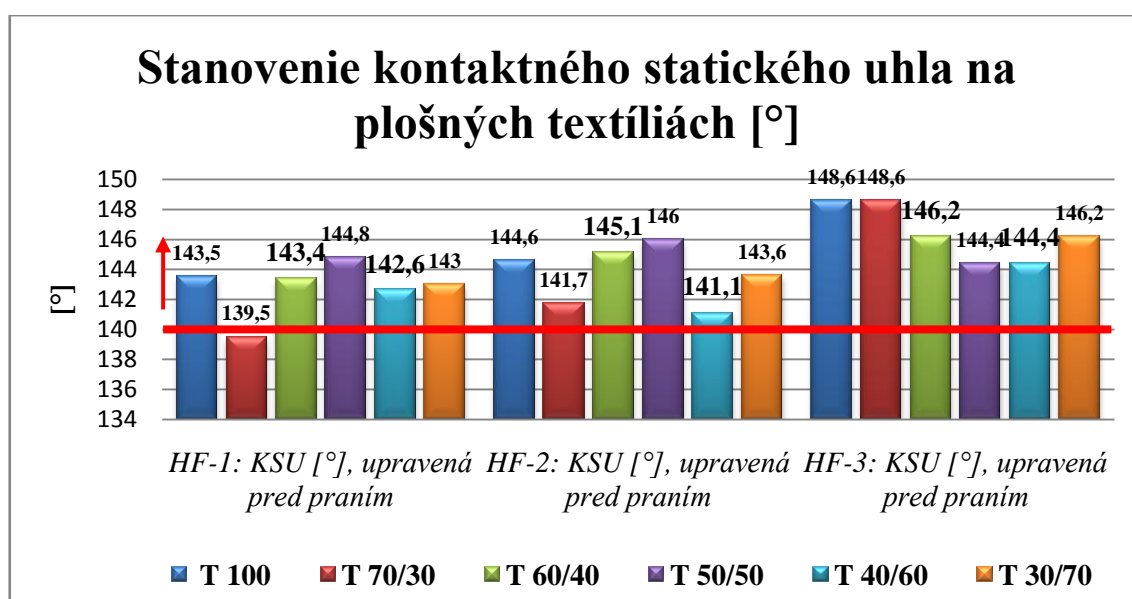
4.2 Vyhodnotenie výsledkov laboratórnych skúšok, hydrofóbná úprava

Podarilo sa v laboratórnom rozsahu pripraviť 3 typy hydrofóbných nanosólov HF-1, HF-2 a HF-3, ktoré boli aplikované na rôzne typy textilných materiálov. Na upravených vzorkách textílií boli vyhodnotené ich funkčné parametre a overená stabilita hydrofóbnnej úpravy na povrchu rôznych typov textilných materiálov.



Obr. 45 Stanovenie uhla rolovania na plošných textíliách

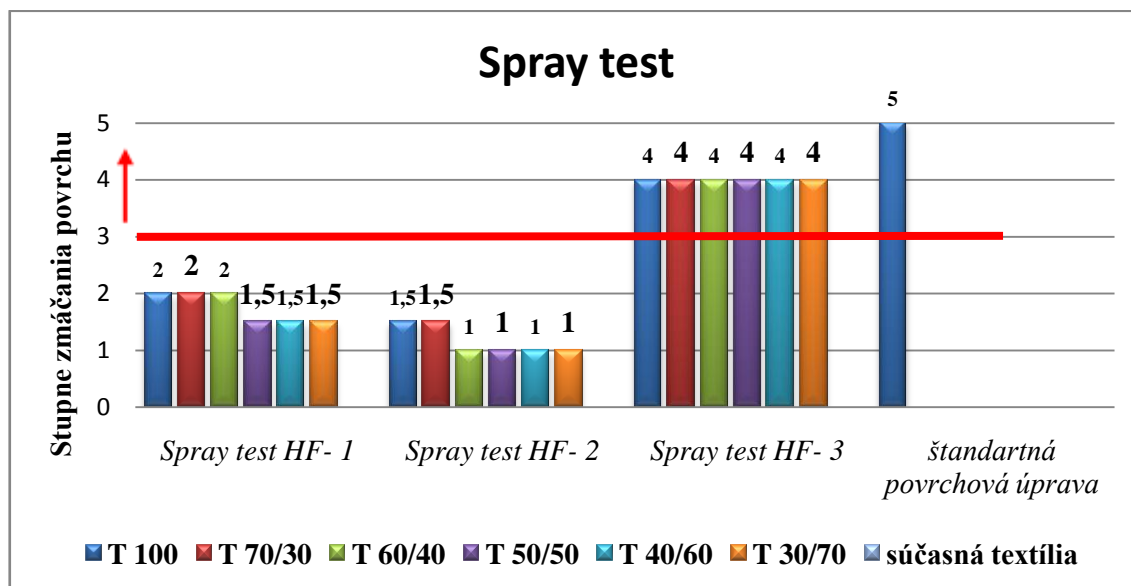
Na obr. 45 sú hodnoty stanovenia uhla rolovania na plošných textíliách, vzorky sú zoradené podľa materiálového zloženia od 100% aramid- VS FR po 30% aramid- VS FR / 70% ba- PES. Na vzorky nanosený hydrofóbny nanosól HF-1, HF-2 a HF-3.. Ak má skúšobná textília $\bar{\alpha} \leq 20^\circ$, jedná sa pravdepodobne o nanoštrukturalizovaný povrch a môže mať samočistiace vlastnosti. Multifunkčnosť spočíva v dosiahnutí viacerých parametrov. Pre stanovenie uhla rolovania je daná hodnota $\bar{\alpha} \leq 20^\circ$. Podmienku spĺňa textília upravená hydrofóbnym nanosólom HF-3.



Obr. 46 Parametre kontaktného statického uhla laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF-1, HF-2 a HF-3.

Na obr. 46 sú hodnoty stanovenia kontaktného statického uhla na plošných textíliách, vzorky sú zoradené podľa materiálového zloženia od 100% aramid- VS FR po 30% aramid- VS FR / 70% ba- PES. Na vzorky nanosený hydrofóbny nanosól HF-1, HF-2 a HF-3. Najlepšie hodnoty KSU rolovania dosiahnuté hydrofóbnym nanosólom HF-3. Pri nanosóloch HF-2 a HF-1 dosiahnuté podobné výsledné hodnoty. Pri kontaktných uhloch $\alpha > 90^\circ$ je povrch textílie nezmáčanlivý, textília má hydrofóbny povrch. Multifunkčnosť spočíva v dosiahnutí viacerých parametrov. Pre stanovenie KSU je daná hodnota $\alpha > 140^\circ$. **Podmienku spĺňajú všetky textílie upravené**

hydrofóbnym nanosólom. Najvyššie a teda najlepšie hodnoty dosiahnuté nanosólom HF-3.



Obr. 47 Spray test

Na obr. 47 sú hodnoty stupňov zmačania povrchu textílií, vzorky sú zoradené podľa materiálového zloženia od 100% aramid- VS FR po 30% aramid- VS FR / 70% ba- PES. Na vzorky bol nanosený hydrofóbný nanosól HF-1, HF-2 a HF-3. Najlepšie hodnoty spray testu dosiahnuté hydrofóbnym nanosólom HF-3, stupeň 4. Súčasná používaná textília dosiahla najlepší a najvyšší stupeň zmačania 5. Multifunkčnosť spočíva v dosiahnutí viacerých parametrov. Pre stanovenie stupňa zmačania je daný minimálnym stupeň 3, zmačanie pokropenej plochy len v malých oddelených plochách. **Podmienku spĺňajú textílie upravené hydrofóbnym nanosólom HF- 3 a súčasná používaná textília.**

4.2.1 Zhrnutie výsledkov laboratórnych skúšok, hydrofóbná úprava

Na vzorky nanosený hydrofóbný nanosól HF-1, HF-2 a HF-3. Multifunkčnosť spočíva v dosiahnutí viacerých parametrov. Pre stanovenie uhla rolovania je daná hodnota $\bar{\alpha} \leq 20^\circ$. Podmienku spĺňa textília upravená nanosólom HF-3.

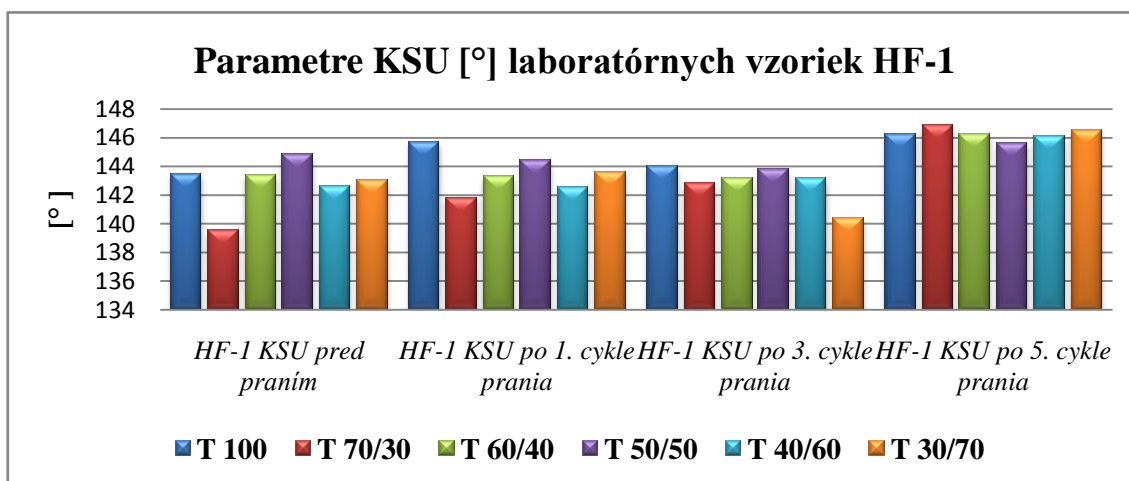
Pri kontaktných uhloch $\alpha > 90^\circ$ je povrch textílie nezmáčanlivý, textília má hydrofóbný povrch. Pre stanovenie KSU je daná hodnota $\alpha > 140^\circ$. Podmienku spĺňajú všetky textílie upravené hydrofóbnym nanosólom. Najvyššie, najlepšie hodnoty dosiahnuté nanosólom HF-3.

Najlepšie hodnoty pri spray testu dosiahnuté hydrofóbnym nanosólom HF-3, stupeň 4. Súčasná používaná textília dosiahla najlepší a najvyšší stupeň zmáčania 5. Pre stanovenie stupňa zmáčania je však daný minimálny stupeň 3, zmáčanie pokropenej plochy len v malých oddelených plochách. Podmienku spĺňajú textílie upravené hydrofóbnym nanosólom HF-3 a súčasná používaná textília.

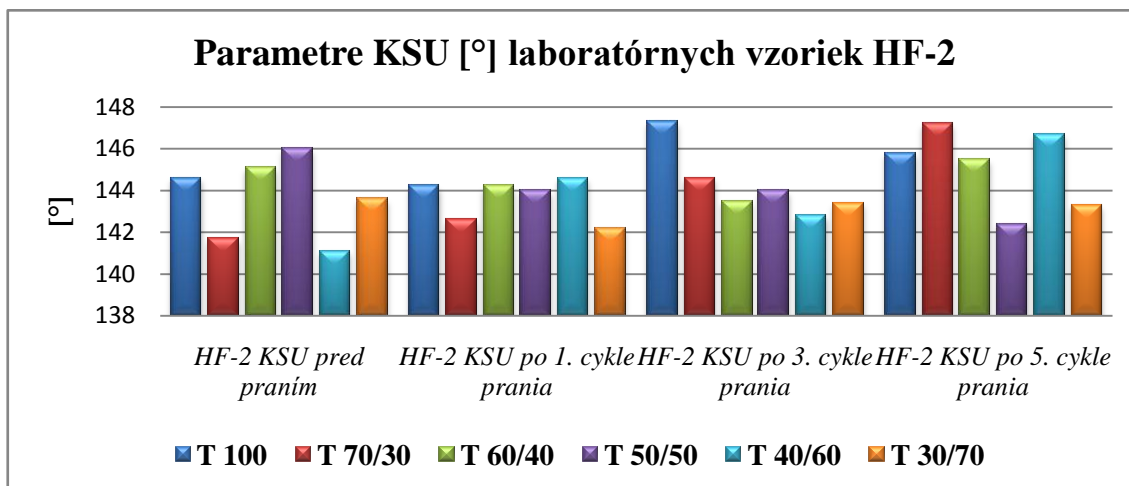
Všetky podmienky týkajúce sa hydrofóbnosti úpravy spĺňa textília upravená hydrofóbnym nanosólom HF-3.

4.3 Účinnosť hydrofóbnosti úpravy

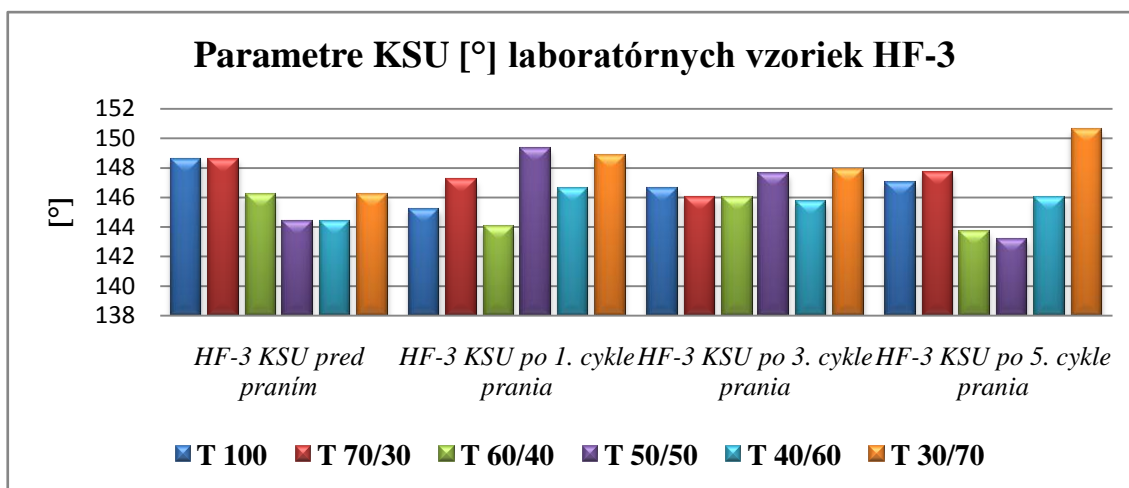
Hydrofóbnosť povrchov vzoriek textílií upravených hydrofóbnymi nanosólmi HF-1, HF-2 a HF-3, ktorá je charakterizovaná kontaktným statickým uhlom, sa u všetkých textílií javí ako vysoko účinná, na úrovni superhydrofóbných vlastností. U všetkých troch použitých HF prípravkov ($KSU > 140^\circ$). Hodnota KSU sa u testovaných vzoriek tkanín výrazne nemení ani po 5-tich cykloch prania (Obr. 48, 49, 50) z čoho vyplýva vcelku dobrá stabilita hydrofóbných nanosólov na povrchu textílií.



Obr. 48 Parametre KSU [°] laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF-1

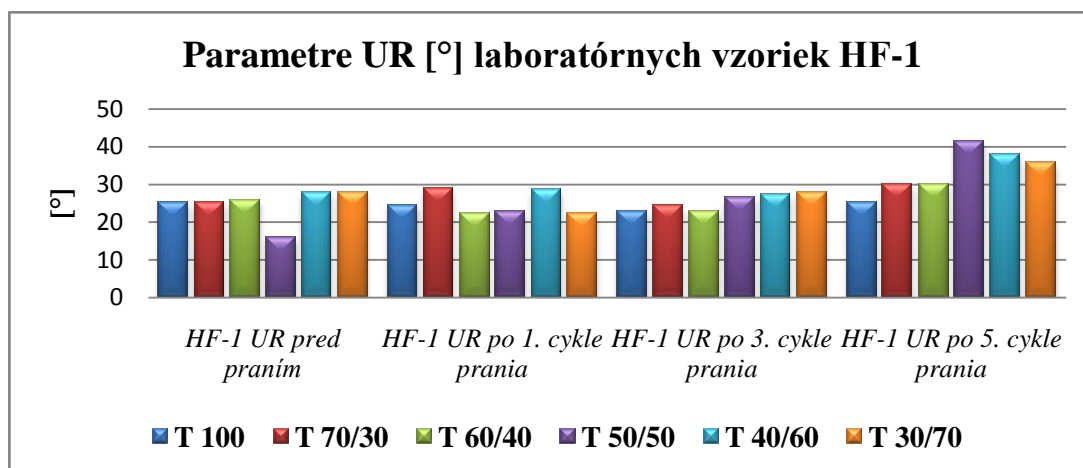


Obr. 49 Parametre KSU [°] laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF- 2

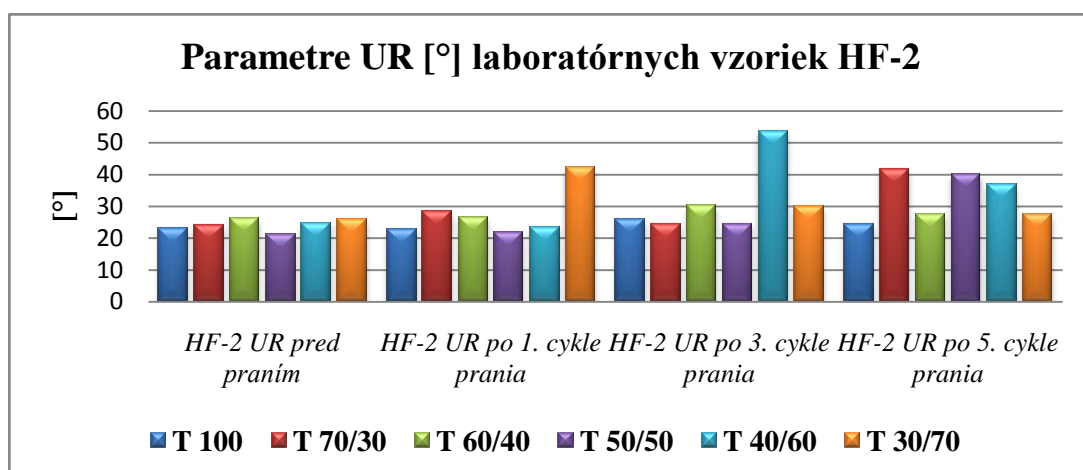


Obr. 50 Parametre KSU [°] laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF- 3

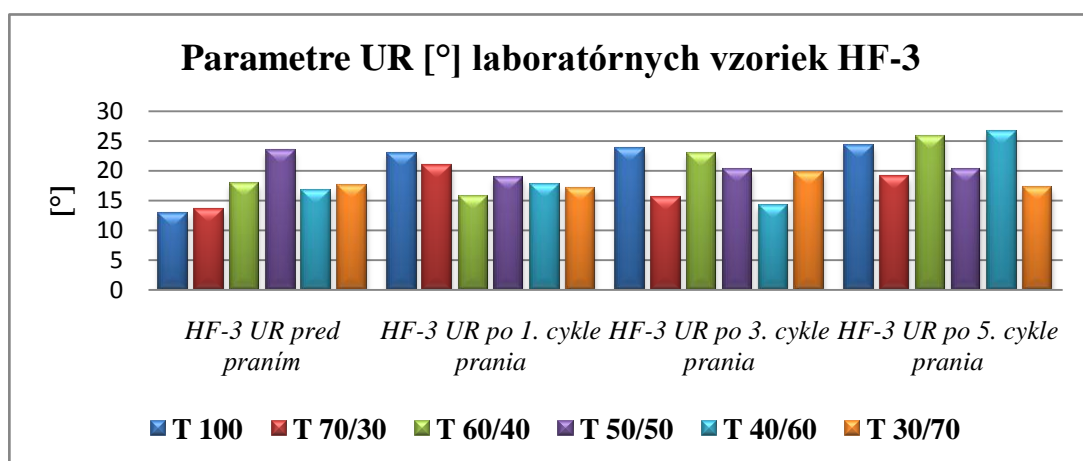
Z hľadiska samočistiacej schopnosti použitej hydrofóbnej úpravy definovanej dosiahnutým uhlom rolovania boli najlepšie výsledky dosiahnuté u hydrofóbného prípravku HF-3 ($UR < 15-20^\circ$). Zvyšovaním cyklov prania ale dochádza k zvyšovaniu uhla rolovania, a teda k poklesu samočistiacej schopnosti (Obr. 51, 52, 53). Z hľadiska materiálového zloženia tkanín sa u všetkých troch produktov prejavili lepšie samočistiace vlastnosti u tkanín s vyšším obsahom aramidových vlákien. Uhly rolovania poukazujú na nanoštruktúru povrchu.



Obr. 51 Parametre UR [°] laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF- 1



Obr. 52 Parametre UR [°] laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF- 2



Obr. 53 Parametre UR [°] laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF- 3

Oproti tomu bežné hodnotenie HF úpravy kropiacou metódou „Spray testom“ na všetkých vzorkách tkanín upravených nanosólmi HF-1 a HF-2 sa ukázalo ako neúčinné (stupeň zmáčania na úrovni 1-2). Predpokladáme, že nano-častice a samotná nanosená vrstva hydrofóbných nanosólov je veľmi tenká a tlak vody padajúcej na textíliu prenikne vrstvou úpravy. Hydrofóbny prostriedok HF-3 sa z hľadiska tohto parametra javí ako najúčinnější (stupeň zmáčania 4-5) (Obr. 47).

Výsledky môžu byť ovplyvnené nerovnomerným povrchom textílií, nerovnomerným nanosením úpravy a chybou merania. Rozdiel vo výsledkoch nie je ovplyvnený hlavne materiálom zložením ale hydrofóbnou úpravou. Najlepšia sa javí hydrofóbná úprava HF-3, kde sa prejavuje v malej miere aj materiálom zložením. Čím je v textílii väčšie množstvo ba vlákien, tým je povrch chlpatejší a KSU menší, väčšia chyba merania.

Štandardná hydrofóbná úprava, ktorá je použitá na textilných materiáloch používaných dnes v armáde SR na výrobu vojenských uniforiem, u ktorej predpokladáme, že je na báze fluorkarbónu, má vynikajúce funkčné vlastnosti z hľadiska hydrofóbných vlastností (spray test = stupeň zmáčania 5, UR=12 °). Táto úprava ale nie je a báze nanotechnológie čo je predpoklad.

Záver

Hlavným cieľom diplomovej práce bola príprava multifunkčnej textílie pre ochranu vojaka na bojisku. Jednalo sa o výskum nových technológií pre aplikáciu v textíliách budúcich bojových odevov. Hlavným cieľom bolo analyzovať vplyv konštrukcie tkaniny pre multifunkčné textílie na ich funkčné parametre s vypracovaním doporučená pre optimalizáciu podmienok prípravy multifunkčnej textílie. Následne aplikovaná hydrofóbná úprava na báze nanosólov na povrch šiestich multifunkčných textílií s vyhodnotením na prístroji Goniometer DSA 30 z hľadiska vplyvu materiálového zloženia na stabilitu hydrofóbného nanosólu.

V úvodnej časti tejto práce bol prevedený prehľad pojmov týkajúcich sa bojových odevov. Zahrňovala súčasný stav bojových odevov armády SR, základné konštrukčné a fyzikálno- mechanické parametre komerčných textílií, vybrané vlákna so zníženou horľavosťou a závere rešeršnej časti bola pozornosť venovaná hydrofóbnej úprave a nanotechnológiám.

V ďalšej časti sa pozornosť sústredila už na charakteristiku samotných skúšaných vzoriek. Týmto laboratórnym vzorkám bola venovaná ostatná časť práce, ktorá zahrnuje tri hlavné ciele diplomovej práce. Prvým cieľom bola analýza vplyvu materiálového zloženia multifunkčných tkanín so zníženou horľavosťou na ich funkčné parametre. Ďalším cieľom bolo overenie aplikácie hydrofóbnej úpravy na báze nanosólov na povrchu multifunkčnej textílie so zníženou horľavosťou a vyhodnotenie funkčných vlastností. Posledným cieľom bola analýza vplyvu materiálového zloženia multifunkčnej textílie so zníženou horľavosťou na stabilitu hydrofóbného nanosólu.

V závere práce sa vyhodnocujú dosiahnuté výsledky a rozdiely z hľadiska porovnania funkčných vlastností hydrofóbného nanosólu a štandardnej hydrofóbnej úpravy so zameraním na účinnosť hydrofóbnej úpravy. Meraním sa zistilo že súčasná textília nespĺňa požadované požiadavky týkajúce sa hlavne zápalnosti, čas tlenia a čas horenia nespĺňa. Podmienku spĺňajú dve vzorky, T 100 a T 70/30, ktoré netlejú ani nehoria.

Skúšobné vzorky T 100 a T 70/30 sú z hľadiska konštrukčných a fyzikálno-mechanických parametrov určených pre bojové odevy vojakov najlepšie vyhovujúce z dôvodu splnenia žiadaných parametrov a dosiahnutia veľmi dobrých výsledkov týkajúcich sa stanovenia ľahkosti zapálenia a horľavosti.

Pri hydrofóbnej úprave obstál najlepšie hydrofóbny prostriedok HF-3. Výsledky môžu byť ovplyvnené nerovnomerným povrchom textílií, nerovnomerným nanesením úpravy a chybou merania. Rozdiel vo výsledkoch nie je ovplyvnený hlavne materiálovým zložením ale hydrofóbnou úpravou. Najlepšia sa javí hydrofóbná úprava HF-3, kde sa prejavuje v malej miere aj materiálové zloženie. Čím je v textílii väčšie množstvo ba vlákien, tým je povrch chlpatejší a KSU menší, väčšia chyba merania.

Štandardná hydrofóbná úprava, ktorá je použitá na textilných materiáloch používaných dnes v armáde SR na výrobu vojenských uniforiem, u ktorej predpokladáme, že je na báze fluorkarbónu, má vynikajúce funkčné vlastnosti z hľadiska hydrofóbných vlastností (spray test = stupeň zmáčania 5, UR=12 °). Táto úprava ale nie je a báze nanotechnológie čo je predpoklad.

Pracovalo sa však s reznými tkaninami, teda neupravenými, tkaniny pre bojový odev musia byť potlačené. S tkaninami by sa dalo následne pracovať na ich nastavení a optimalizácii receptúr farebných odtieňov pre zabezpečenie maskovacieho vzoru multifunkčných tkanín, štúdium vplyvu potlače na zmenu funkčných parametrov a účinnosť hydrofóbnej úpravy.

Diplomová práca bola pre mňa veľmi zaujímavá. Dozvedela som sa mnoho informácií hlavne o hydrofóbnej úprave. Takže môžem povedať, že táto práca mala pre mňa veľký prínos čo sa týka skúsenosti a informácií.

6. Zoznam použitej literatúry

- [1] propagačný materiál NOMEX, firemný materiál DuPont
- [2] propagačný materiál KERMEL
- [3] propagačný materiál KEVLAR
- [4] firemný materiál Lenzing AG
- [5] ŠESTÁK, J.; DEANKO, P.; KNAPEC, M. *Príprava a overenie aplikácie anorganicko- organických nanosólov pre hydrofóbnú úpravu*. VÚTCH-CHEMITEX, spol. s r.o. Žilina
- [6] JESENÁK, K. *Sól- gélové metódy*. Univerzita Komenského Bratislava 2005, ISBN 80-223-2071-4
- [7] STN EN 12127. *Textílie. Plošné textílie. Stanovenie plošnej hmotnosti s použitím malých vzoriek*. 80 0807, 01.11.2000
- [8] STN EN ISO 9237. *Textílie. Stanovenie priepustnosti vzduchu plošnými textíliami (ISO 9237:1995)*. 80 0817, 23.03.1998
- [9] STN EN ISO 13934-1. *Textílie. Ťahové vlastnosti plošných textílií. Časť 1: Zisťovanie maximálnej sily a ťažnosti pri maximálnej sile metódou Strip (ISO 13934-1:1999)*. 80 0812, 01.11. 2001
- [10] STN EN ISO 6940. *Textílie. Horľavosť. Zisťovanie ľahkosti zapálenia zvisle umiestnených vzoriek (ISO 6940: 2004)*. 80 0881, 01.11. 2004
- [11] STN EN ISO 15025. *Ochranné odevy. Ochrana proti teplu a ohňu. Metóda skúšania ohraničeného šírenia plameňa (ISO 15025:2000)*. 83 2734, 01.10. 2003
- [12] *Interný predpis skúšobný. Stanovenie uhla rolovania na plošných textíliách“ na unikátnom zariadení Roltest 9-11. IPS31583814/73/80/2008*
- [13] *Interný predpis skúšobný, Stanovenie kontaktného statického uhla textílií, Stanovenie voľnej povrchovej energie textílií. IPS 31583814/101/2000/2010*
- [14] STN EN 24920. *Textílie. Stanovenie odolnosti plošných textílií proti povrchovému zmáčaniu (kropiaca metóda)*. 80 0827, 01.04.1997

-
- [15] BREZOVIANOVÁ, D.; BALOGOVÁ, Ľ.; REMEKOVÁ, V. *Multifunkčné textilné materiály s návrhom konštrukcie bojového odevu*. VÚTCH- CHEMITEX spol. s r.o. Žilina, Číslo správy 885/09.
- [16] PASTRNEK, R.; VLACH, P. *Finální úpravy textilií*. Liberec 2002
- [17] Dostupný z WWW: <http://forum.valka.cz/viewtopic.php/t/88188> (21.04. 2012)
- [18] Dostupný z WWW : <http://www.takticka-malorazka.cz/teorie/tm-teorie-jak-vytvorit-digital-camo/> (21.04. 2012)
- [19] Dostupný z WWW : <http://en.percenta.com/nanotechnology-lotus-effect.php> (24.04. 2012)
- [20] Dostupný z WWW : <http://www.nano4you.cz/page/jak-funguji-nase-pri/13> (24.04. 2012)
- [21] Dostupný z WWW : <http://forum.valka.cz/viewtopic.php/t/88188> (21.04. 2012)
- [22] Dostupný z WWW: <http://www.vutch.sk/stranka/technicke-textilie> (05.05. 2012)
- [23] Dostupný z WWW : http://www.ctf2000.com/v1/addiguard_fluorcarbon.aspx (05.05. 2012)

7. Zoznam tabuliek

Tab. 1 Celoročná poľná rovnošata 2007- digitalizovaná potlač- les [15].....	14
Tab. 2 Poľná rovnošata 2007 letná- digitalizovaná potlač- púšť[15]	14
Tab. 3 Rozbor základných konštrukčných a fyzikálno- mechanických parametrov komerčných textílií určených pre bojové odevy vojakov [15]	15
Tab. 4 Hodnoty LOI vybraných vlákien [15]	23
Tab. 5 Fyzikálno- mechanické vlastnosti vybraných aramidových vlákien	26
Tab. 6 Navrhnuté materiálové zloženie laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín.	38
Tab. 7 Plošná hmotnosť textílie [g.m^{-2}]	41
Tab. 8 Priepustnosť vzduchu pri podtlaku 200 Pa [mm.s^{-1}]	44
Tab. 9 Pevnosť textílií v smere osnovy a útku [N]	47
Tab. 10 Priemerný minimálny čas potrebný na zapálenie vzorky [s].....	51
Tab. 11 Horľavosť- ohraničené šírenie plameňa, čas tlenia [s]	53
Tab. 12 Dosiahnuté výsledky laboratórnych vzoriek multifunkčných textílií.....	56
Tab. 13 Parametre uhla rolovania laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF-1, HF-2 a HF-3.	68
Tab. 14 Parametre kontaktného statického uhla laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF-1, HF-2 a HF-3.	73
Tab. 15 Spray test	76

8. Zoznam obrázkov

Obr.1 Poľný odev 2007,a) púšť, b) les [17].....	13
Obr. 2 Uhol zmáčania [16]	29
Obr. 3 Lotosový list [19].....	31
Obr. 4 Kvapky vody tvoriace perličky , odnášajúce nečistoty z povrchu textilného materiálu [19].....	31
Obr. 5 Povrch lotosového listu [20].....	31
Obr. 6 Princíp samočistiaceho efektu [20].....	33
Obr. 7 Metóda nanášania filmov namáčaním [6]	35
Obr. 8 SEM snímka zmesnej priadze aramid/VS FR pri zväčšení 50 μm	37
Obr. 9 SEM snímka zmesnej priadze ba/PES pri zväčšení 50 μm	37
Obr. 10 Laboratórny tkáčsky stav – pohľad z predu.....	38
Obr. 11 Osnova tkaniny	38
Obr. 12 Analytické váhy Scaltec	40
Obr. 13 Plošná hmotnosť textílie [g.m^{-2}]	42
Obr. 14 Prístroj na meranie priepustnosti vzduchu typu FF – 12/A	43
Obr. 15 Priepustnosť vzduchu pri podtlaku 200 Pa[mm.s^{-1}]	45
Obr. 16 Trhací stroj ZWICK.....	46
Obr. 17 Grafické znázornenie pevnosti textílií v smere osnovy a útku [N]	47
Obr. 18 Prístroj Sherley Flammability Tester M 233 B	49
Obr. 19 Horizontálny dosah plameňa (5-plameň, 6- horák).....	50
Obr. 20 Grafické znázornenie priemerného minimálneho času potrebného na zapálenie vzorky [s]	51
Obr. 21 Zvyšok po horení vzorky multifunkčnej tkaniny T 30/70 v smere útku	53
Obr. 22 Zvyšok po horení vzorky multifunkčnej tkaniny T 30/70 v smere osnovy	53
Obr. 23 Zvyšok po horení vzorky multifunkčnej tkaniny T 40/60 v smere útku	53
Obr. 24 Zvyšok po horení vzorky multifunkčnej tkaniny T 40/60 v smere osnovy	53
Obr. 25 Horľavosť- ohraničené šírenie plameňa, čas tlenia [s]	54
Obr. 26 Horľavosť- ohraničené šírenie plameňa, čas horenia [s]	54
Obr. 27 Plošná hmotnosť [g.m^{-2}]	57
Obr. 28 Priepustnosť vzduchu pri podtlaku 200Pa [mm.s^{-1}]	58
Obr. 29 Grafické znázornenie pevnosti textílií v smere osnovy a útku [N]	59
Obr. 30 Grafické znázornenie priemerného minimálneho času potrebného na zapálenie vzorky [s]	60
Obr. 31 Horľavosť- ohraničené šírenie plameňa, čas tlenia [s]	61
Obr. 32 Horľavosť- ohraničené šírenie plameňa, čas horenia [s]	61
Obr. 33 Fixačné zariadenie Mathis.	63
Obr. 34 Dôkaz prítomnosti hydrofóbnej úpravy na povrchu multifunkčnej textílie upravenej hydrofóbnym nanosólom HF-3 pri zväčšení 50 μm	64

Obr. 35 Hydrofóbná úprava pri zväčšení 2 μ m.....	64
Obr. 36 Roltest 9- 11 prístroj na meranie uhla rolovania kvapky [22]	66
Obr. 37 Stanovenie uhla rolovania na plošných textíliách	67
Obr. 38 Stanovenie uhla rolovania na plošných textíliách	69
Obr. 39 GONIOMETER DSA 30 od firmy KRÜSS; (3) kamera, (4) držiak na vzorku, (6) fľaštička pre kvapaliny	70
Obr. 40 GONIOMETER DSA 30 od firmy KRÜSS; (1) pohybová hlavica s dávkovacími ihlami, (2) dávkovacia ihla, (5) osvetlenie, (7) pohyblivý stolík	70
Obr. 41 Obrázok kvapky destilovanej vody na povrchu textilného materiálu zobrazená na monitore meracieho zariadenia	72
Obr. 42 Parametre kontaktného statického uhla laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF-1, HF-2 a HF-3.	74
Obr. 43 Kropiace zariadenie, Spray test [23].....	75
Obr. 44 Spray test	77
Obr. 45 Stanovenie uhla rolovania na plošných textíliách	77
Obr. 46 Parametre kontaktného statického uhla laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF-1, HF-2 a HF-3.	78
Obr. 47 Spray test	79
Obr. 48 Parametre KSU [°] laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF- 1	80
Obr. 49 Parametre KSU [°] laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF- 2.....	81
Obr. 50 Parametre KSU [°] laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF- 3.....	81
Obr. 51 Parametre UR [°] laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF- 1	82
Obr. 52 Parametre UR [°] laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF- 2.....	82
Obr. 53 Parametre UR [°] laboratórnych vzoriek multifunkčných tkanín upravených hydrofóbnym nanosólom HF- 3.....	82